

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 562

January 2010

レベル1地震動に対する根入れセル式岸壁の 耐震性能照査用震度の設定方法

柴田 大介・長尾 毅

Seismic Coefficients of Embedded-type Cellular Bulkhead Quay Walls
against the Level-one Earthquake Ground Motion

Daisuke SHIBATA
Takashi NAGAO

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

レベル1地震動に対する根入れセル式岸壁の 耐震性能照査用震度の設定方法

柴田 大介*・長尾 毅**

要 旨

本研究では、レベル1地震動に対する根入れセル式岸壁の耐震性能照査用震度の設定方法について検討した。根入れセル式岸壁の特徴である根入れ効果を照査用震度算定式に反映させる為に既往の自立矢板式係船岸の手法を参考にして、岸壁壁高、地盤固有周期、横方向地盤反力係数を説明変数として周波数特性考慮用フィルターを作成した。また、本研究で提案した手法を既往の研究成果及び現行基準の手法と比較することで提案した震度算定式の精度について検討した。

キーワード：根入れセル式岸壁，レベル1地震動，耐震設計

*港湾研究部港湾施設研究室 交流研究員（株式会社 日本港湾コンサルタント）

**港湾研究部港湾施設研究 室長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5029 Fax：046-844-5081 e-mail: shibata-d92y2@ysk.nilim.go.jp

Seismic Coefficients of Embedded-type Cellular Bulkhead Quay Walls against the Level-one Earthquake Ground Motion

Daisuke SHIBATA*
Takashi NAGAO**

Synopsis

In this paper, we aim at establishing the method of evaluating the seismic coefficients for embedded-type cellular bulkhead quay walls against the level-one earthquake ground motion. We made the method for taking into consideration of the influence of the frequency characteristic of seismic motion using the subgrade reaction coefficient as well as the wall height and natural period of the ground as the parameters.

The accuracy of the proposed method for the calculation of seismic coefficients for embedded-type cellular bulkhead quay walls was assessed from the viewpoint of the comparison with the other methods. As the results, we confirmed the applicability of the proposed method to the practical design.

Key Words: *Embedded-type cellular bulkhead quay wall, level-one earthquake ground motion, earthquake resistant design*

* Researcher of Port Facilities Division, Port and Harbor Department
** Head of Port Facilities Division, Port and Harbor Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone: +81-46-844-5029 Fax: +81-46-844-5081 e-mail: daisuke-d92y2@ysk.nilim.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 耐震性能照査用震度に関する検討	1
2.1. 解析条件	1
2.2. 周波数特性の影響の評価	4
2.3. 継続時間の影響の評価	10
2.4. 補正加速度最大値の算定	12
2.5. 照査用震度の算定	16
3. フィルターの上下限値の検討	21
4. おわりに	22
謝辞	22
参考文献	22

1. はじめに

2007年に「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾（以下、現行基準）が改訂され、仕様規定から性能規定へと移行された。また、その際に信頼性設計法が導入され、レベル1地震動に対する岸壁の耐震性能照査用震度の設定方法として、地震動の周波数特性、継続時間の影響を考慮し、岸壁の変形量に対応した手法が導入された。

現在、重力式、控え矢板式（控え直杭式、控え組杭式）、自立矢板式、二重矢板式については耐震性能照査用震度の設定方法が提示されているものの、根入れセル式については未だ提示されていない。その為、現行基準では便宜的に重力式係船岸の手法に準じて照査用震度を設定しても良いとされている。

根入れセル式岸壁のレベル1地震動に対する耐震性能照査用震度の設定方法は過去に検討されており、住谷ら²⁾は、地震動の周波数特性を考慮する際に用いるフィルターのパラメータとして壁高 H 、背後地盤の固有周期 T_b 、海底面下の地盤の固有周期 T_u 、根入れ長 D と壁高 H の比 D/H （以下、根入れ比）、根入れ長 D と換算壁体幅 B の比 D/B （以下、根入れ壁体幅比）を用いることで根入れセル式岸壁の特徴である根入れ効果を考慮した。しかし、既往の研究³⁾において、根入れ長 D や換算壁体幅 B が増加することで変形量は抑制できるが、根入れ長や換算壁体幅の増加率と比較して岸壁変形量の減少率は小さいことが明らかにされており、根入れ比や根入れ壁体幅比をパラメータとすると変形を抑制する効果が過剰に考慮されてしまう為、照査用震度を過小に評価する結果となった。一方、根入れに関するパラメータを考慮せず、壁高、背後地盤の固有周期、海底面下の地盤の固有周期のみをパラメータとして構築したフィルターは、根入れを考慮したフィルターと比較して設計震度の増加に対応し、かつ、変形量にも応じた照査用震度が得られており、重力式係船岸の照査用震度設定方法を根入れセル式岸壁に準用することの可能性が示されている。しかし、重力式と根入れセル式とでは根入れの有無による構造特性が異なる為、周波数特性考慮用フィルターを構築する際には根入れの効果を適切に考慮すべきである。

築地ら⁴⁾は自立矢板式係船岸の照査用震度設定方法の検討において、地盤の強度が岸壁変形に大きく影響していることを考慮し、周波数特性考慮用フィルターに壁高、背後地盤の固有周期、海底面下の地盤の固有周期と併せて地盤の横抵抗定数 k_c をパラメータとして用いることにより、その変形特性を評価している。

本研究の対象である根入れセル式岸壁も自立矢板式係

船岸と同様に根入れを有した構造である。そこで、根入れに関するパラメータで根入れ効果を考慮するのではなく、自立矢板式係船岸と同様に地盤強度に着目し、横方向地盤反力係数を周波数特性考慮用フィルターのパラメータとして用いることを検討した。

本研究では、根入れセル式岸壁の耐震性能照査用震度設定方法を既往の重力式係船岸や控え矢板式係船岸と同様の検討手法⁵⁾により検討した（図-1）。また、本研究ではレベル1地震動を対象とする為、液状化はしないことを前提として今後の議論を進める。

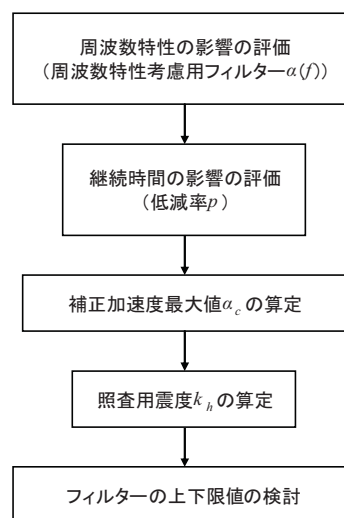


図-1 検討フロー

2. 耐震性能照査用震度に関する検討

2.1. 解析条件

本研究では、有限要素法に基づく2次元動的有効応力解析プログラム FLIP⁶⁾を用いて地震応答解析を行った。FLIPは、兵庫県南部地震における根入れセル式岸壁の被災事例の再現性に実績があり、設計実務においても広く用いられている数値解析プログラムである。解析条件は、表-1に示す通りであり、旧基準⁷⁾における根入れセル式岸壁の設計方法に基づいて断面を設定している。

この検討条件において、水深は岸壁の標準的な水深の範囲から設定しており、設計震度も標準的な設計震度の範囲から設定している。しかし、水深が深い条件ほど岸壁の重要度が高く、大きな設計震度が採用される傾向が強いことを考慮している。

検討モデルは図-2の通りである。地盤条件は全国の強震観測地点のS波速度構造から固有周期を整理した結果に基づき、やや締まった地盤で固有周期0.8秒、緩い地盤で固有周期1.2秒と設定している。ここで、根入れセ

ル式岸壁の建設地点の地盤には旧基準の第I種地盤のような硬い地盤は少ないと判断し、検討条件から除外している。また、横方向地盤反力係数は式(1)、式(2)よりN値を求め、図-3の関係から得られた式(3)により算定した。なお、根入れ長と換算壁体幅は、設計震度、水深(壁高)および地盤条件等の違いによりそれぞれ異なる。

FLIPにおけるセル式岸壁のモデル化は、セル壁体が剛体として挙動するように、北村ら⁸⁾が実施した検討事例を参考に図-4のように設定した。ここで、梁①の原地盤および中詰砂と接する部分にはジョイント要素を挿入しており、梁②と梁③については地盤と独立である。

地盤物性、断面緒元等のモデルパラメータは表-3、表-4に示す通りであり、FLIPの標準的な方法⁹⁾に従って設定した。また、液状化は検討対象外である為、液状化に関するパラメータは考慮していない。

以上の解析条件は住谷ら²⁾によるものと同様である。

表-1 検討条件

水深 震度	-7.5m	-11.0m	-14.5m	-16.0m
0.10	○	○		
0.15	○	○		
0.20		○	○	
0.25			○	○

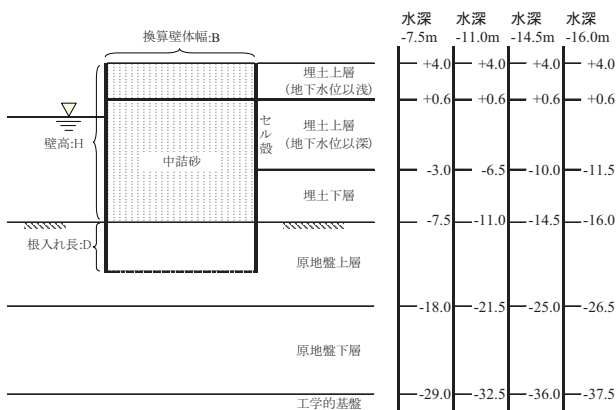


図-2 検討モデル

表-2 検討条件

地盤	k_{CH} (kN/m ³)
Case1	5900
Case2	19400

$$G_0 = \frac{\gamma_t V_s^2}{g} \quad (1)$$

$$G_0 = 14100N^{0.68} \quad (2)$$

$$k_{CH} = 2N \quad (3)$$

ここに、

G_0 : せん断弾性係数 (kN/m²)

γ_t : 土の単位体積重量 (kN/m³)

V_s : せん断波速度 (m/s)

g : 重力加速度(m/s²)

N : N値

k_{CH} : 横方向地盤反力係数 (N/cm³)

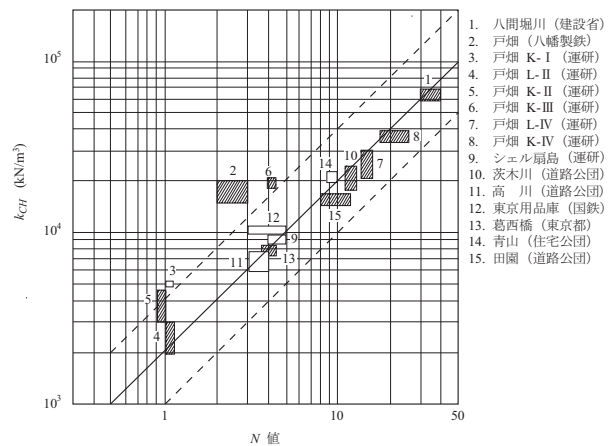


図-3 N値と横方向地盤反力係数の関係

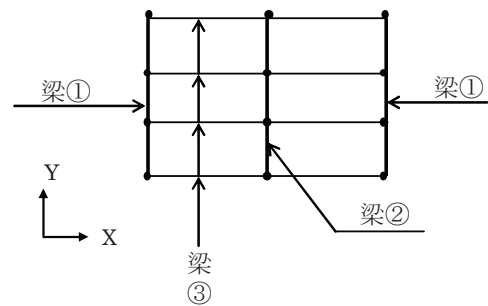


図-4 FLIPによるセル式岸壁のモデル化

梁① : 「セル殻+アーク鋼板の堤体中心軸回りの単位奥行き当り剛性」の1/2の剛性を有し、断面積が十分小さい仮想梁

梁② : 「セル殻+アーク鋼板の単位奥行き当り断面積」と等しい断面積を有し、剛性が十分に小さい仮想梁

梁③ : 仮想梁①~②~①を水平方向につなぐ剛性が十分に大きく断面積が十分に小さい仮想梁

表- 3 セルの断面諸元

水深 (m)	設計 震度	地盤 条件	セル緒元				FLIP 入力パラメータ								
			セル 直径 (m)	セル 板厚 (mm)	根入 れ長 (m)	換算 壁体 幅 (m)	梁 1			梁 2			梁 3		
							密度 ρ (t/m ³)	断面積 A_1 (m ² /m)	断面 2 次 モーメント I_1 (m ⁴ /m)	密度 ρ (t/m ³)	断面積 A_2 (m ² /m)	断面 2 次 モーメント I_2 (m ⁴ /m)	密度 ρ (t/m ³)	断面積 A_3 (m ² /m)	断面 2 次 モーメント I_3 (m ⁴ /m)
-7.5	0.10	Case1	9.5	8.0	2.0	8.75	0	1.14E-4	1.29E-1	7.85	2.28E-2	2.57E-3	0	0.1	3.21E+0
			11.0	8.0	4.0	10.13	0	1.14E-4	1.29E-1	7.85	2.28E-2	2.57E-3	0	0.1	3.21E+0
			12.5	8.0	6.0	11.05	0	1.14E-4	1.29E-1	7.85	2.28E-2	2.57E-3	0	0.1	3.21E+0
		Case2	8.5	8.0	2.0	7.83	0	1.14E-4	1.03E-1	7.85	2.28E-2	2.06E-3	0	0.1	2.57E+0
			9.5	8.0	4.0	8.75	0	1.14E-4	1.03E-1	7.85	2.28E-2	2.06E-3	0	0.1	2.57E+0
			10.5	8.0	6.0	9.21	0	1.14E-4	1.03E-1	7.85	2.28E-2	2.06E-3	0	0.1	2.57E+0
	0.15	Case1	12.0	8.0	3.0	11.05	0	1.14E-4	2.05E-1	7.85	2.28E-2	4.10E-3	0	0.1	5.13E+0
		Case2	10.0	8.0	2.0	9.21	0	1.14E-4	1.42E-1	7.85	2.28E-2	2.85E-3	0	0.1	3.56E+0
-11.0	0.10	Case1	12.5	8.0	2.0	11.51	0	1.14E-4	2.23E-1	7.85	2.28E-2	4.45E-3	0	0.1	5.57E+0
			13.5	8.0	4.0	12.44	0	1.14E-4	2.23E-1	7.85	2.28E-2	4.45E-3	0	0.1	5.57E+0
			14.5	8.0	6.0	13.36	0	1.14E-4	2.23E-1	7.85	2.28E-2	4.45E-3	0	0.1	5.57E+0
		Case2	11.0	8.0	2.0	10.13	0	1.14E-4	1.72E-1	7.85	2.28E-2	4.45E-3	0	0.1	4.31E+0
			11.5	8.0	4.0	10.59	0	1.14E-4	1.72E-1	7.85	2.28E-2	4.45E-3	0	0.1	4.31E+0
			13.0	8.0	6.0	11.51	0	1.14E-4	1.72E-1	7.85	2.28E-2	4.45E-3	0	0.1	4.31E+0
	0.15	Case1	15.5	8.0	4.0	14.28	0	1.14E-4	3.58E-1	7.85	2.28E-2	7.17E-3	0	0.1	8.96E+0
		Case2	13.5	8.0	2.0	12.44	0	1.14E-4	2.60E-1	7.85	2.28E-2	5.20E-3	0	0.1	6.49E+0
	0.20	Case2	17.0	9.0	5.0	15.66	0	1.28E-4	4.61E-1	7.85	2.56E-2	9.23E-3	0	0.1	1.15E+1
	-14.5	0.20	Case1	24.5	13.5	8.0	22.57	0	1.93E-4	1.45E+0	7.85	3.87E-2	2.90E-2	0	0.1
Case2			21.5	12.2	7.0	19.80	0	1.74E-4	1.00E+0	7.85	3.47E-2	2.00E-2	0	0.1	2.50E+1
0.25		Case1	31.5	16.8	12.0	29.02	0	2.39E-4	2.97E+0	7.85	4.97E-2	5.93E-2	0	0.1	7.41E+1
		Case2	26.5	14.5	10.0	24.41	0	2.07E-4	1.81E+0	7.85	4.13E-2	3.62E-2	0	0.1	4.53E+1
-16.0	0.25	Case1	34.0	18.9	13.0	31.32	0	2.70E-4	3.89E+0	7.85	5.39E-2	7.78E-2	0	0.1	9.73E+1
		Case2	32.0	17.9	10.0	29.48	0	2.56E-4	3.27E+0	7.85	5.11E-2	6.54E-2	0	0.1	8.17E+1

せん断剛性 ($G=7.7E+8kN/m^2$) およびポアソン比 ($\nu=0.3$) は全ての梁で共通

表- 4 地盤物性

地盤 条件	土層区分	土層区分	湿潤密度 (t/m ³)	基準有効 拘束圧 (kN/m ²)	基準せん 断剛性 (kN/m ²)	基準体積 剛性 (kN/m ²)	粘着力 (kN/m ²)	内部 摩擦角 (°)	最大減衰	S 波速度 (m/s)
Case1	埋土	上層(気中)	1.8	89.8	25920	67595	0	37	0.24	120
		上層(水中)	2.0							
		下層								
	原地盤	上層	2.0	239.8	45000	117353	0	38	0.24	150
下層										
Case2	埋土	上層(気中)	1.8	89.8	58320	152089	0	38	0.24	180
		上層(水中)	2.0							
		下層								
	原地盤	上層	2.0	198.5	72200	188286	0	38	0.24	190
		下層		279.2	125000	325980		39		250
共通 材料	中詰砂		1.8	106.0	58300	152089	0	37	0.24	—

2.2. 周波数特性の影響の評価

以上の条件の基に、まず周波数特性と岸壁変形量の相関を検討する為、既往の研究と同様に正弦波を用いた検討を行った。入力波形は既往の研究と同じく、継続時間の影響の条件を揃える為に継続時間を40秒、主要動継続時間を5秒に調整して、主要動の前後にコサイン状のテーパー処理を行った正弦波である。周波数は、0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0Hzの10種類とし、入力振幅を調節して岸壁の残留変形量が20cmとなる条件を2次元地震応答解析により探索した。ここで、残留変形量20cmという値は、レベル1地震動作用後の変形量として供用制限を行うことなく岸壁が引き続き供用できる値の上限値に近い値として設定している。

図-5は、設計震度0.10、地盤Case1の条件について、岸壁天端の残留変形量が20cmとなる時の地表面加速度最大値を周波数毎に示したものである。セルの根入れ長Dによる違いを見る為に根入れ長別に図示してある。この地表面加速度最大値は、最終的に求める照査用震度が1次元地震応答解析における地表面加速度を基に設定されることを想定し、FLIPの自由地盤部における1次元地震応答解析の結果を基に評価している。

図より以下の特徴が指摘できる。岸壁を20cm変形させる為に必要な地表面加速度は、1Hz以下の周波数帯では各周波数ともほぼ同じ100Gal程度となっているのに対し、1Hz以上では周波数が高くなるにつれて非常に大きな地表面加速度が必要となる。これは、1Hz以下の周波数帯が岸壁の変形に大きく寄与していることを意味する。さらに、水深が浅く根入れが大きいほど大きな加速度が必要となっている。これは、他の設計条件が同じ断面の場合、水深が深い(壁高が高い)ほど岸壁が変形し易いこと、根入れが耐震性向上に有効であることを示している。

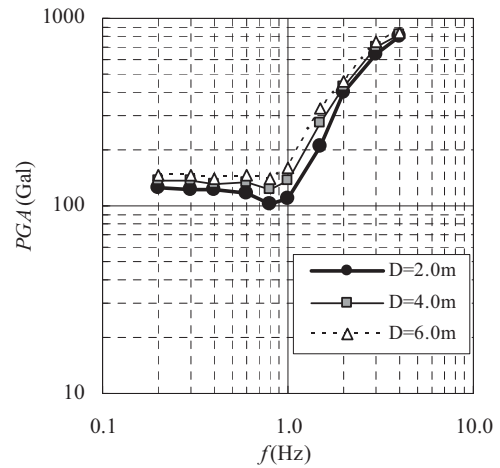
以上の結果を踏まえ、既往の研究と同様に地震動の周波数特性を考慮する為に1Hz以下の領域でフラット、1Hz以上で急激に減衰する値を持つ周波数特性考慮用フィルターを検討する。このフィルターを1次元の地震応答解析により得られる地表面加速度時刻歴を高速フーリエ変換したものに乘じることで、一様変形スペクトルが得られる。これをフーリエ逆変換することで岸壁の変形量に対応し、かつ、地震動の周波数特性も考慮した地表面加速度最大値を求めることが出来る⁵⁾。

設計震度0.10の条件における解析結果であることを考慮して、フィルター処理後の加速度最大値が100Galとなるようなフィルターを検討する。ここで、1Hz以下のフラットな部分の値(これをbase値の意味でbと呼ぶ)は、

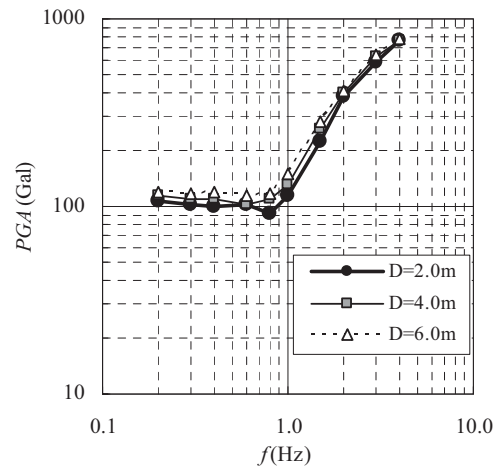
0.3~0.6Hzの解析結果の平均値をターゲットとして壁高H、背後地盤の固有周期 T_b 、海底面下の地盤の固有周期 T_u および横方向地盤反力係数、根入れ比をパラメータとした重回帰分析を行うことで回帰式を求めた。なお、地盤の固有周期は1/4波長則により求めている。

1Hz以上については、従来の港湾構造物の設計震度算出の際にSMAC型強震計の特性に補正するフィルター(以下、SMACフィルター)が用いられてきたことを考慮し、SMACフィルターの関数を参考に解析結果と一致するように関数形を設定した。

フィルター $a(f)$ の関数を式(4)~式(11)に示す。比較の為に住谷らによる既往研究の式と現行基準で採用されている重力式係船岸の式も併せて示す。



(a) 水深-7.5m



(b) 水深-11.0m

図-5 周波数と地表面最大加速度の関係(20cm変形時)

$$\alpha(f) = \begin{cases} b & (f \leq 1.0\text{Hz}) \\ \frac{b}{1 - \{g(f)\}^2 + 8.8g(f)i} & (f > 1.0\text{Hz}) \end{cases} \quad (4)$$

$$g(f) = 0.34(f - 1.0) \quad (5)$$

本研究①（横方向地盤反力係数）

$$b = 1.09 \frac{H}{H_R} - 0.88 \frac{T_b}{T_{bR}} + 0.96 \frac{T_u}{T_{uR}} - 0.03 \frac{k_{CH}}{k_{CH_R}} - 0.34 \quad (6)$$

本研究②（根入れ比+横方向地盤反力係数）

$$b = 1.07 \frac{H}{H_R} - 0.88 \frac{T_b}{T_{bR}} + 0.96 \frac{T_u}{T_{uR}} - 0.10 \frac{D}{H} - 0.03 \frac{k_{CH}}{k_{CH_R}} - 0.29 \quad (7)$$

既往研究①（根入れ比）

$$b = 0.90 \frac{H}{H_R} - 1.10 \frac{T_b}{T_{bR}} + 0.96 \frac{T_u}{T_{uR}} - 0.65 \frac{D}{H} + 0.29 \quad (8)$$

既往研究②（根入れ壁体幅比）

$$b = 0.83 \frac{H}{H_R} - 0.91 \frac{T_b}{T_{bR}} + 0.69 \frac{T_u}{T_{uR}} - 0.60 \frac{D}{B} + 0.50 \quad (9)$$

既往研究③（根入れ無視）

$$b = 1.80 \frac{H}{H_R} - 2.03 \frac{T_b}{T_{bR}} + 1.98 \frac{T_u}{T_{uR}} - 0.85 \quad (10)$$

現行基準（重力式準用）

$$b = 1.05 \frac{H}{H_R} - 0.88 \frac{T_b}{T_{bR}} + 0.96 \frac{T_u}{T_{uR}} - 0.23 \quad (11)$$

ここに、

f : 周波数(Hz)

i : 虚数単位

H : 壁高(m)

H_R : 基準壁高 (=15.00m)

T_b : 背後地盤の初期固有周期(s)

T_{bR} : 背後地盤の基準初期固有周期(=0.80s)

T_u : 海底面下地盤の初期固有周期(s)

T_{uR} : 海底面下地盤の基準初期固有周期(=0.40s)

D : 根入れ長(m)

B : 換算壁体幅(m)

k_{CH} : 横方向地盤反力係数(kN/m³)

k_{CH_R} : 基準横方向地盤反力係数(=12650kN/m³)

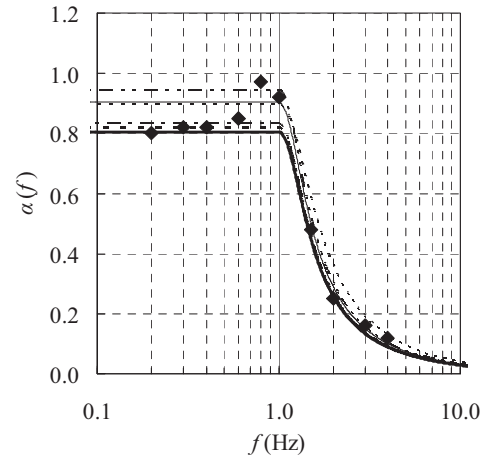
地震動の周波数特性考慮用フィルターの形状を図-6に示す。図中の◆のプロットが正弦波による地震応答解析に対応する値で、設計震度 0.10 相当の加速度 100Gal に対応している。

図より、根入れ比 D/H や根入れ壁体幅比 D/B をパラメータとして根入れを考慮した既往研究のフィルター（式(8)、式(9)）は、解析結果のプロットと比較的良く一致しているものの、根入れ長の増加に伴って b 値が急激に低減されてしまう傾向がある。その為、根入れが大きな場合に過剰に低減された地表面加速度が算定されてしまい、照査用震度を過小に評価してしまうことになる。また、パラメータに根入れ長や換算壁体幅が入っている為、これらのフィルターを用いて設定した断面が性能照査の過程で性能を満たさない場合に、根入れ長や換算壁体幅を変更して照査用震度を算定し直す必要が生じる。次に、根入れを無視したフィルター（式(10)）や現行基準で採用されている重力式係船岸のフィルターは、解析結果との一致はあまり良くないものの、根入れが深くなるとやや安全側の値を算出することがわかる。既往の研究³⁾において、根入れ長 D や換算壁体幅 B が増加することで変形量を抑制できるが、根入れ長や換算壁体幅の増加率と比較して岸壁変形量の減少率は小さいことが明らかにされている。つまり、根入れ比や根入れ壁体幅比をパラメータとすると変形を抑制する効果が過剰に考慮されてしまう。ここで、算出された b 値の大小関係に着目すると、根入れが小さい場合において根入れを考慮したフィルター（既往研究①、②）は、根入れを考慮しないフィルター（既往研究③、現行基準）よりも大きな b 値となっている。しかし、根入れが大きくなると根入れ効果が過剰に反映され、この大小関係は逆転する。以上より、根入れ比や根入れ壁体幅比をフィルターのパラメータとすることで根入れ効果を考慮することは困難であった。

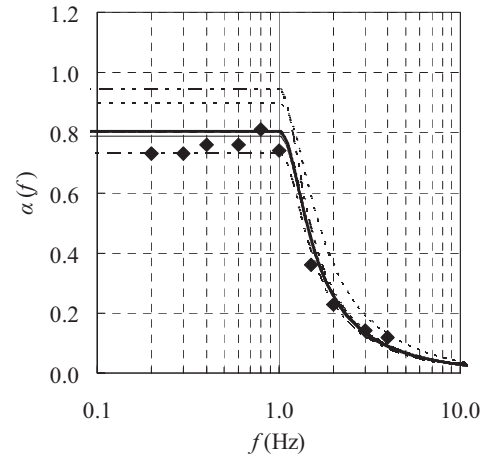
築地ら⁴⁾は、自立矢板式係船岸のフィルターに横抵抗定数 k_c をパラメータとして入れることで根入れのある構造特性を評価している。本研究で対象としている根入れセル式岸壁も自立矢板式と同様に根入れを有した構造形式であり、セルを地盤に根入れすることで地盤強度を岸壁の安定性向上に利用している。そこで、本研究でも地盤の強度に着目し、横方向地盤反力係数 k_{CH} をパラメータとして用いた。この横方向地盤反力係数は地盤条件によって定まる値であり、根入れ長や換算壁体幅のように性能照査の結果により変更されることがない。

以上の考えに基づき、本研究では壁高、背後地盤の固有周期、海底面下の地盤の固有周期、横方向地盤反力係数をパラメータとしたフィルター（式(6)）と、さらに根

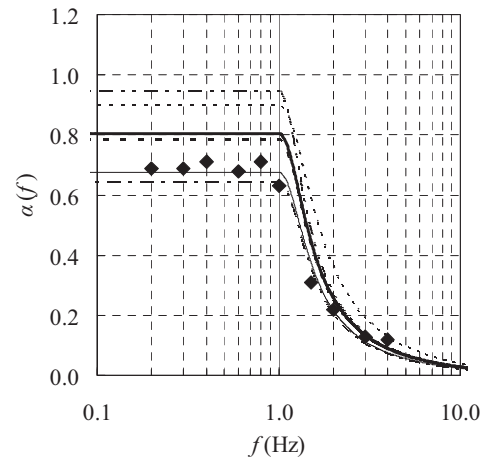
入れ比を追加したフィルター（式(7)）を検討した。既往研究²⁾ではフィルターのフラット部分 b の重回帰分析のターゲットを 0.6Hz~1.0Hz の平均値としていたが、0.8Hz 付近にピークがあるため、1Hz 以下の領域におけるフィッティングとしては平均的には過大な値が設定されていたといえる。本研究では、既往の重力式や矢板式岸壁に対する研究⁵⁾と同様に、目標とする変形量に対して平均的な結果を与える照査用震度算出式を構築することを目的とする。さらに、0.6Hz~1.0Hz の平均値をターゲットとして横方向地盤反力係数を回帰の対象に含めると、重回帰分析によって得られた横方向地盤反力係数の係数は符号が正となった。これは、地盤条件が良いほど b 値が大きくなることを意味している。つまり、よく締まった良好な地盤であるほど大きな照査用震度が必要になることを示しており、実現象を考えた場合に矛盾する結果であった。以上の理由により、本研究では 1Hz 以下の領域のフラットな部分として 0.3Hz~0.6Hz の平均値をターゲットとしたフィルターの検討を行った。得られたフィルターは 1Hz 以下の領域では平均的に目標値と最も良い一致を見せる結果となるとともに、得られた重回帰式の横方向地盤反力係数の係数も符号が負となり、工学的な観点からも実現象と整合性のとれたものとなった。なお、このフィルターを採用した場合には、0.8Hz 付近のピークに対しては危険側の結果となる。ただし、本研究では地震動の継続時間を一定として周波数を変化させた解析を行っているため、0.8Hz のピークが周波数特性のみの影響であるとは断定できず、地震動の継続時間の影響を受けている可能性がある。よって、フィルターのフラットな部分が目標値と一致しない部分は、後述する継続時間の影響の評価および照査用震度算出式の作成の過程において最終的に算出される照査用震度が危険側の結果とならないように考慮することとした。また、重回帰分析の際にはフィルターの地盤固有周期の係数を重力式係船岸と同値にして残りの係数に対する回帰とした。これは、そのまま重回帰分析を行った場合に極端に良好な地盤条件でフィルターの値が負になるケースが生じた為である。このように設定した本研究のフィルターの結果は地盤条件や水深を問わず、地震応答解析の結果と比較的良好一致を見せることがわかる。また、横方向地盤反力係数に根入れ比を追加したケースでは横方向地盤反力係数をパラメータとして追加したことで、根入れ長の増加に伴う急激な b 値の低減が緩和されている。その為、本研究の結果は既往研究や現行基準と比較して精度良く、かつ、根入れの効果も評価できるフィルターであると考えられる。



(a) 根入れ長 $D=2.0\text{m}$



(b) 根入れ長 $D=4.0\text{m}$

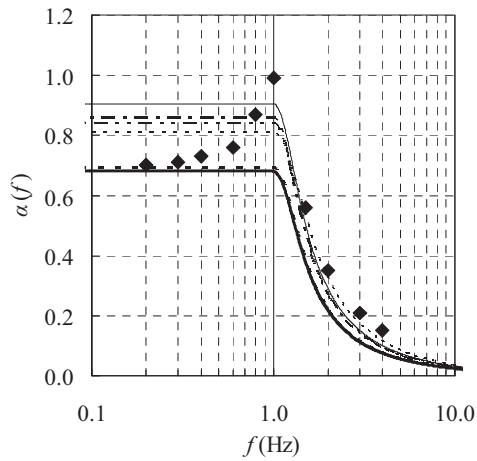


(c) 根入れ長 $D=6.0\text{m}$

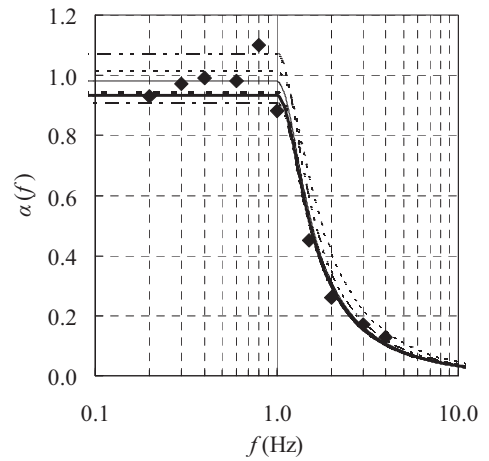
(水深-7.5m 地盤 Case1 $k_h 0.10$)

- 本研究①(横方向地盤反力係数)
- - - 本研究②(根入れ比+横方向地盤反力係数)
- 既往研究①(根入れ比)
- - - 既往研究②(根入れ全体幅比)
- - - 既往研究③(根入れ無視)
- 現行基準(重力式準用)

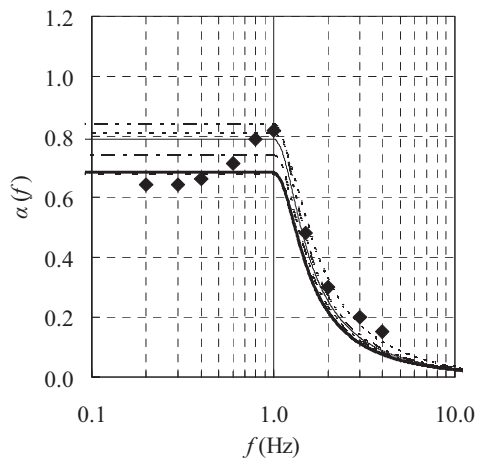
図- 6(a) 周波数特性考慮用フィルター



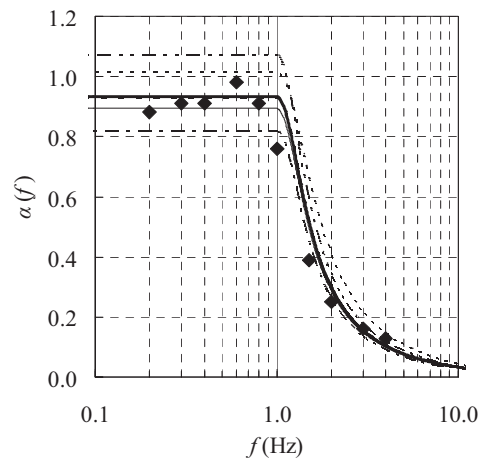
(a) 根入れ長 $D=2.0\text{m}$



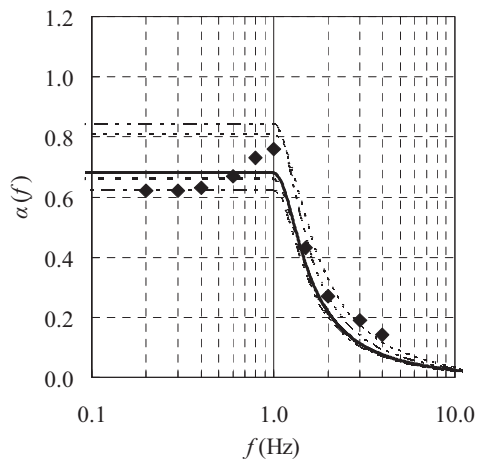
(a) 根入れ長 $D=2.0\text{m}$



(b) 根入れ長 $D=4.0\text{m}$



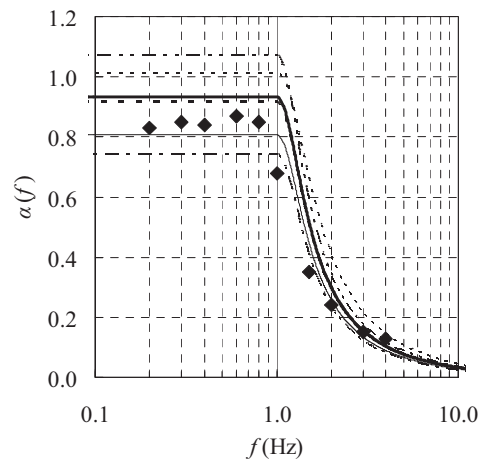
(b) 根入れ長 $D=4.0\text{m}$



(c) 根入れ長 $D=6.0\text{m}$
(水深-7.5m 地盤 Case2 $k_b0.10$)

- 本研究①(横方向地盤反力係数)
- - - 本研究②(根入れ比+横方向地盤反力係数)
- 既往研究①(根入れ比)
- - - 既往研究②(根入れ壁体幅比)
- - - 既往研究③(根入れ無視)
- 現行基準(重力式準用)

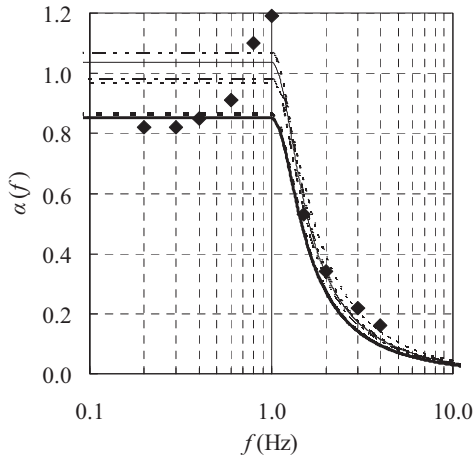
図- 6(b) 周波数特性考慮用フィルター



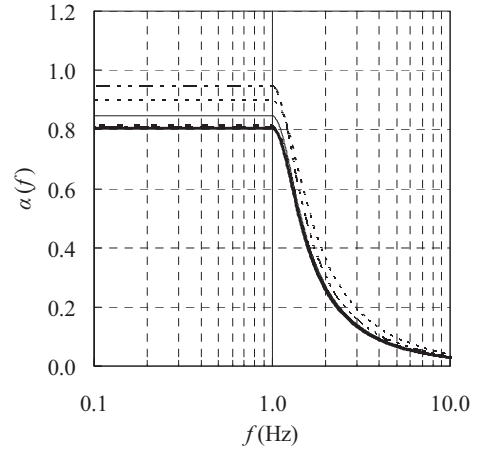
(c) 根入れ長 $D=6.0\text{m}$
(水深-11.0m 地盤 Case1 $k_b0.10$)

- 本研究①(横方向地盤反力係数)
- - - 本研究②(根入れ比+横方向地盤反力係数)
- 既往研究①(根入れ比)
- - - 既往研究②(根入れ壁体幅比)
- - - 既往研究③(根入れ無視)
- 現行基準(重力式準用)

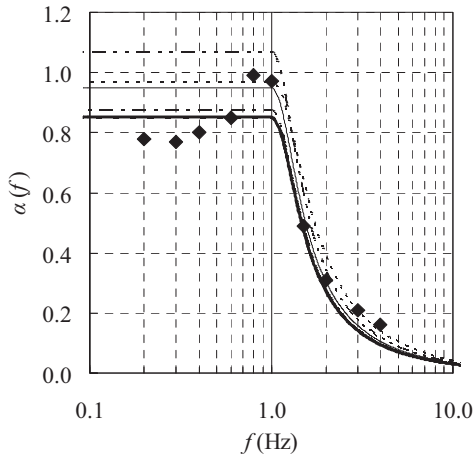
図- 6(c) 周波数特性考慮用フィルター



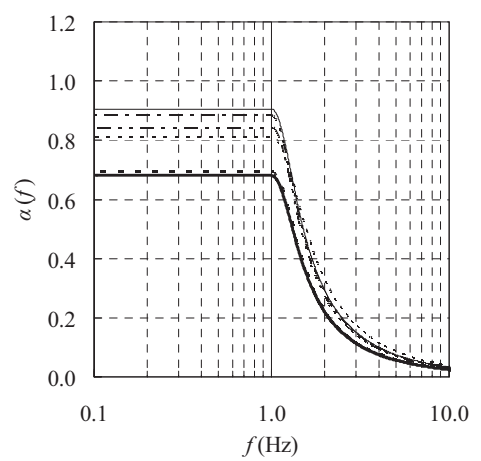
(a) 根入れ長 $D=2.0\text{m}$



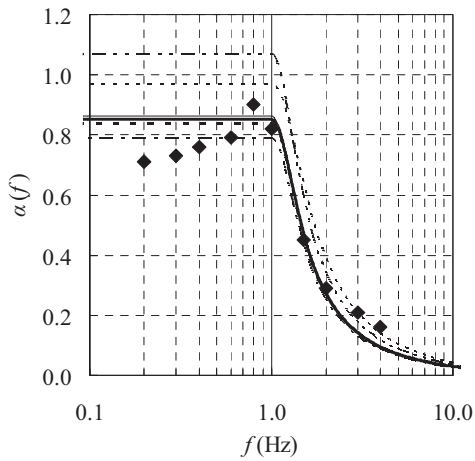
(a) 根入れ長 $D=3.0\text{m}$
(水深-7.5m 地盤 Case1 $k_h 0.15$)



(b) 根入れ長 $D=4.0\text{m}$



(b) 根入れ長 $D=2.0\text{m}$
(水深-7.5m 地盤 Case2 $k_h 0.15$)



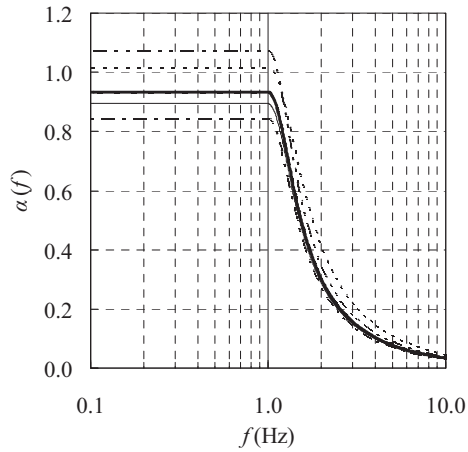
(c) 根入れ長 $D=6.0\text{m}$
(水深-11.0m 地盤 Case2 $k_h 0.10$)

- 本研究①(横方向地盤反力係数)
- - - 本研究②(根入れ比+横方向地盤反力係数)
- 既往研究①(根入れ比)
- · - · 既往研究②(根入れ壁体幅比)
- - - 既往研究③(根入れ無視)
- 現行基準(重力式準用)

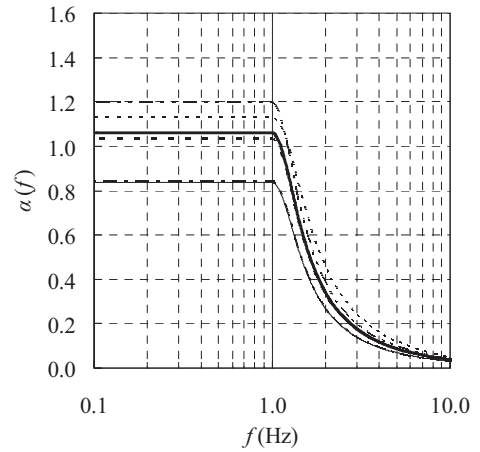
図- 6(d) 周波数特性考慮用フィルター

- 本研究①(横方向地盤反力係数)
- - - 本研究②(根入れ比+横方向地盤反力係数)
- 既往研究①(根入れ比)
- · - · 既往研究②(根入れ壁体幅比)
- - - 既往研究③(根入れ無視)
- 現行基準(重力式準用)

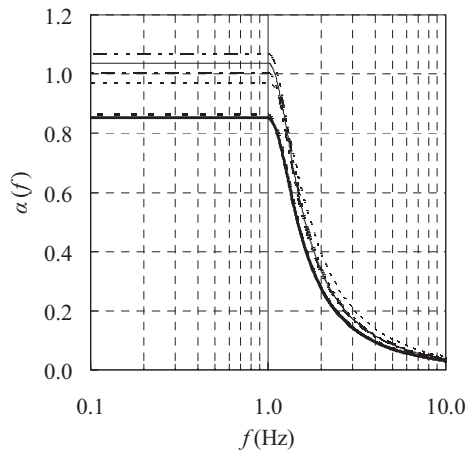
図- 6(e) 周波数特性考慮用フィルター



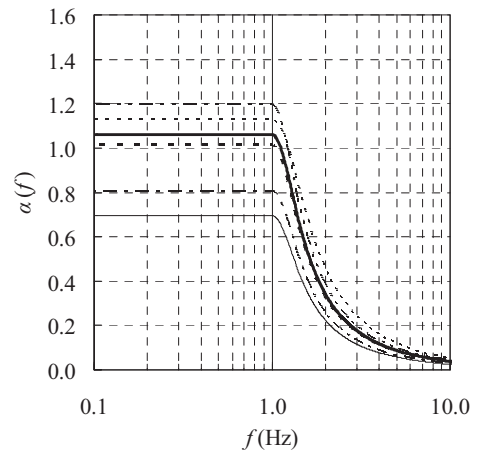
(a) 根入れ長 $D=4.0\text{m}$
(水深-11.0m 地盤 Case1 $k_h 0.15$)



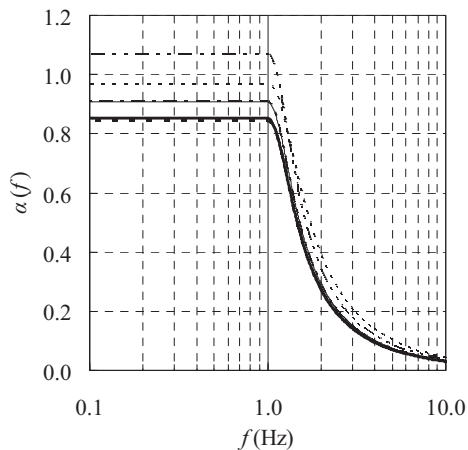
(a) 根入れ長 $D=8.0\text{m}$
(水深-14.5m 地盤 Case1 $k_h 0.20$)



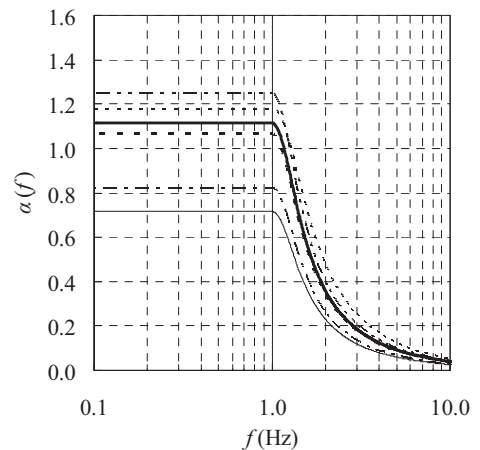
(b) 根入れ長 $D=2.0\text{m}$
(水深-11.0m 地盤 Case2 $k_h 0.15$)



(b) 根入れ長 $D=12.0\text{m}$
(水深-14.5m 地盤 Case1 $k_h 0.25$)



(c) 根入れ長 $D=5.0\text{m}$
(水深-11.0m 地盤 Case2 $k_h 0.20$)



(c) 根入れ長 $D=13.0\text{m}$
(水深-16.0m 地盤 Case1 $k_h 0.25$)

- 本研究①(横方向地盤反力係数)
- - - 本研究②(根入れ比+横方向地盤反力係数)
- 既往研究①(根入れ比)
- - - 既往研究②(根入れ壁体幅比)
- - - 既往研究③(根入れ無視)
- 現行基準(重力式準用)

図- 6(f) 周波数特性考慮用フィルター

- 本研究①(横方向地盤反力係数)
- - - 本研究②(根入れ比+横方向地盤反力係数)
- 既往研究①(根入れ比)
- - - 既往研究②(根入れ壁体幅比)
- - - 既往研究③(根入れ無視)
- 現行基準(重力式準用)

図- 6(g) 周波数特性考慮用フィルター

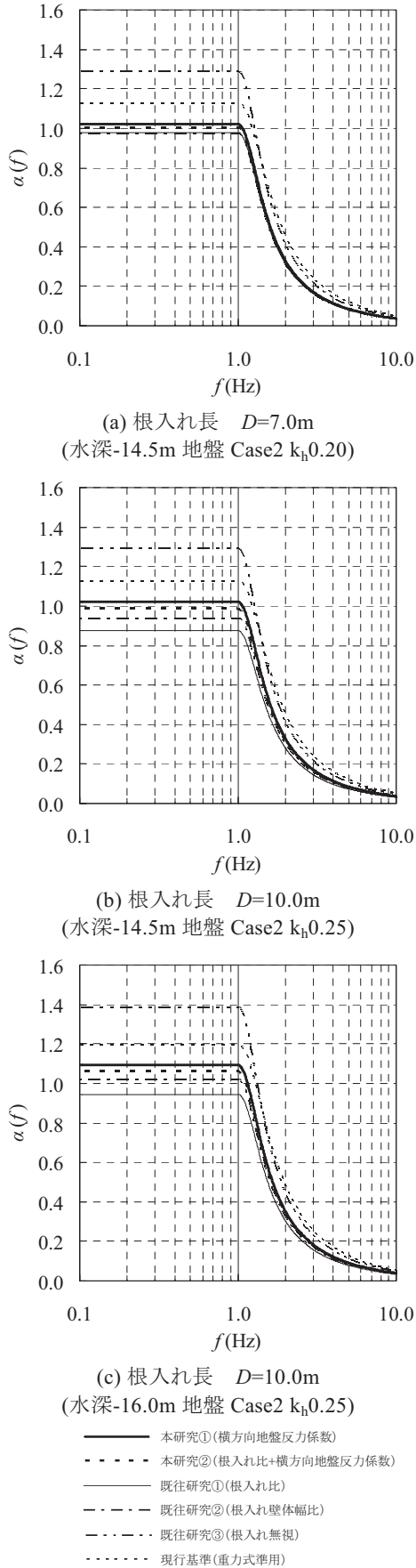


図- 6(h) 周波数特性考慮用フィルター

2.3. 継続時間の影響の評価

次に地震動の継続時間について検討する。検討条件は周波数特性の検討と同様に、設計震度 0.10 とし、検討対象波形は表-5、図-7に示す9波形とした。これらの波形は、継続時間および卓越周波数が偏らないように港湾等における代表的な観測波形、鉄道構造物における設計波および模擬地震動を選定したものである⁵⁾。これらの9波形を入力地震動として、2次元地震応答解析を実施し、入力振幅を調整することにより、岸壁の残留変形量が20cmとなる条件を探索した。設計深度0.10、水深-11.0m、地盤 Case1 の条件における1次元地震応答解析により得られる自由地盤部の地表面加速度について上述の周波数特性考慮用フィルターにより処理を行った後の加速度最大値 a_f を図-9に示す。図中の◇がフィルター処理を行った結果であるが、地震波形の違いによってかなりバラツキがある。そこで、既往の研究⁵⁾と同様に、継続時間に関するパラメータとしてフィルター処理後の加速度最大値 a_f で基準化したフィルター処理後の加速度の二乗和平方根 S を用いて補正を行う。図-8に S/a_f と低減率 p の関係を示す。ここで低減率 p とは、フィルター処理後の加速度最大値 a_f を検討条件である設計震度 0.10 相当の100Gal に対応させる為に設定した値 ($=100/a_f$) である。既往研究において、この S/a_f と低減率 p の関係を用いることで継続時間の影響を考慮できることが示されており、本研究でも同様に行う。低減率 p を a_f に乗じることで地震動の継続時間の影響を考慮した結果が図-9の●である。この図より、波形間のバラツキが適切に補正されていることが分かる。

表- 5 検討対象波形

No.	名称	継続時間(s)	卓越周波数(Hz)
1	八戸波	19.0	0.39
2	神戸波	20.0	2.88
3	大船渡波	19.0	2.34
4	宮崎波	80.0	4.55
5	美都波	161.0	0.37
6	JR波	40.0	1.34
7	Dip波	29.1	0.68
8	Strike波	29.1	1.66
9	Subduction波	40.3	0.60

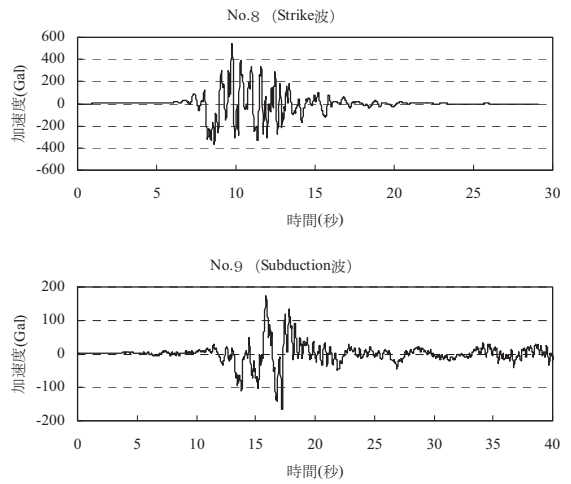
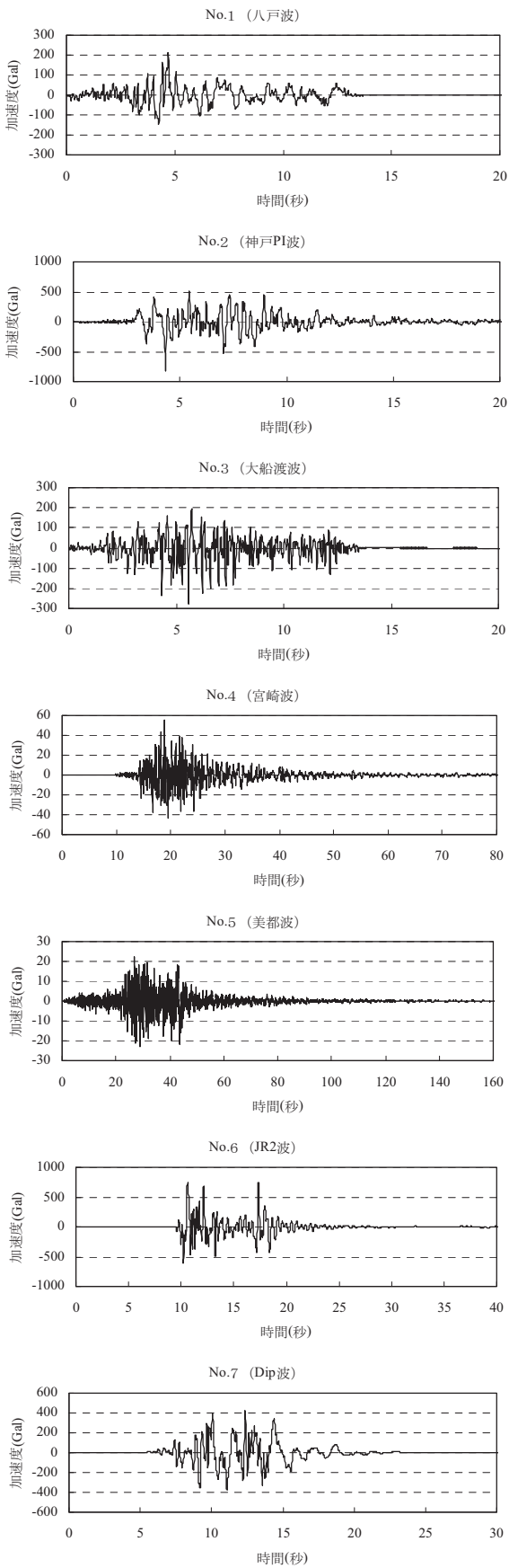
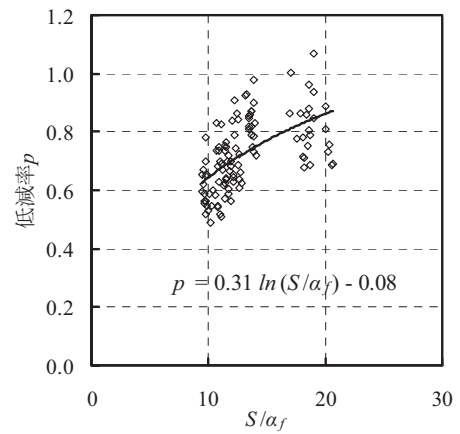
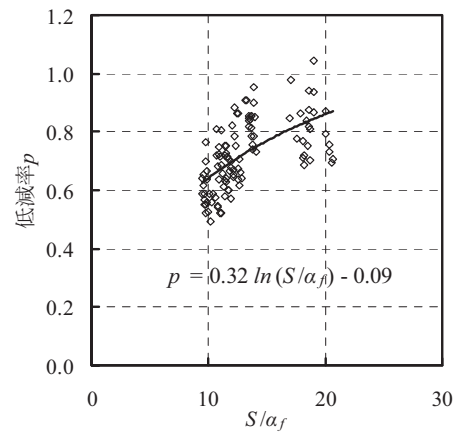


図-7 入力地震動



(a) 本研究① (横方向地盤反力係数)



(b) 本研究② (根入れ比+横方向地盤反力係数)

図-8 低減率 p

$$p = 0.31 \ln(S/\alpha_f) - 0.08 \quad (12)$$

$$p = 0.32 \ln(S/\alpha_f) - 0.09 \quad (13)$$

ここに、

S : フィルター処理後の加速度二乗和平方根(Gal)

a_f : フィルター処理後の加速度最大値(Gal)

式(12), 式(13)より得られる低減率 p を用いて継続時間の影響を考慮した補正加速度最大値 a_c は、式(14)により得られる。

$$a_c = p \cdot a_f \quad (14)$$

ここに、

a_c : 補正加速度最大値(Gal)

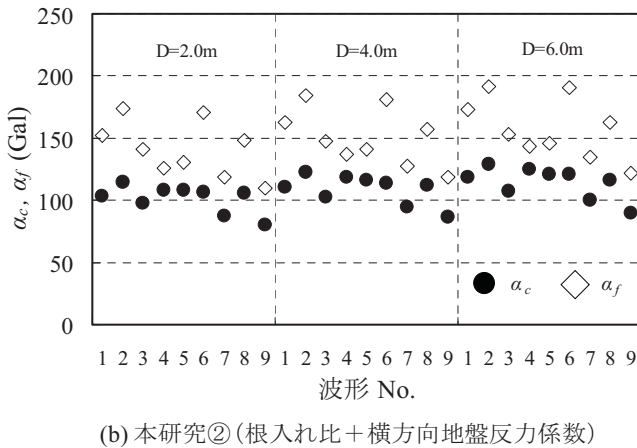
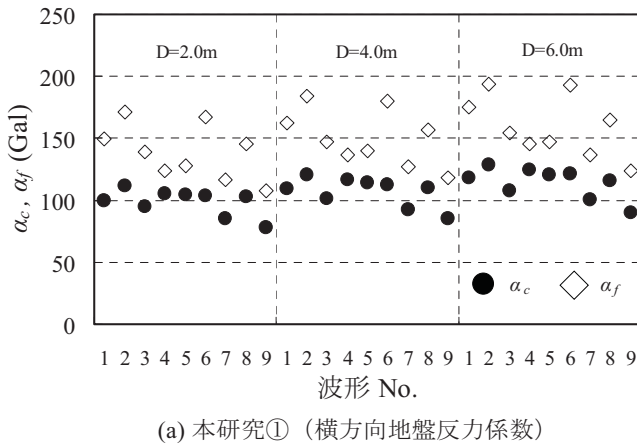


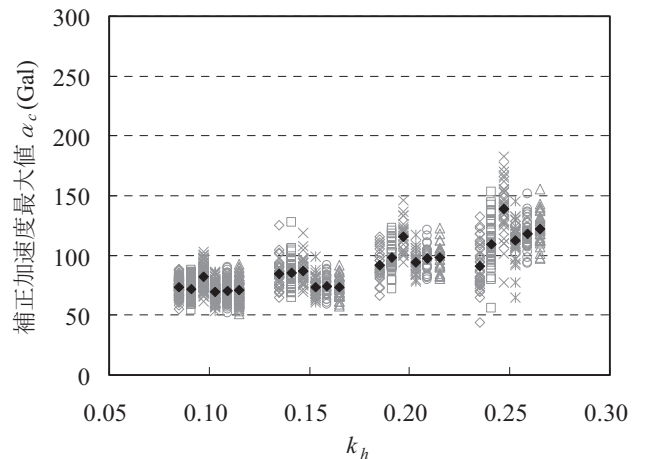
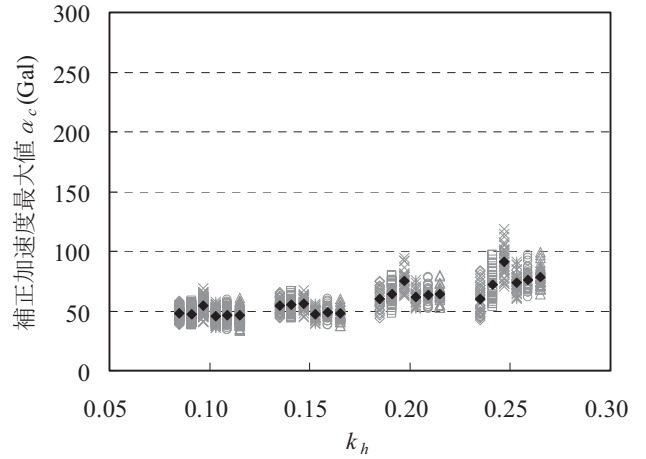
図- 9 加速度最大値の比較

2.4. 補正加速度最大値の算定

次に、任意の許容変形量に対応した補正加速度最大値 a_c が求められるように、先述した 9 波形を用いて 2 次元地震応答解析を実施し、岸壁の残留変形量が 5cm, 10cm, 15cm となるように入力振幅調整を行い、得られた条件における自由地盤部の地表面加速度時刻歴を基に補正加速度最大値 a_c を算出した。図- 10 に岸壁の残留変形量ごと

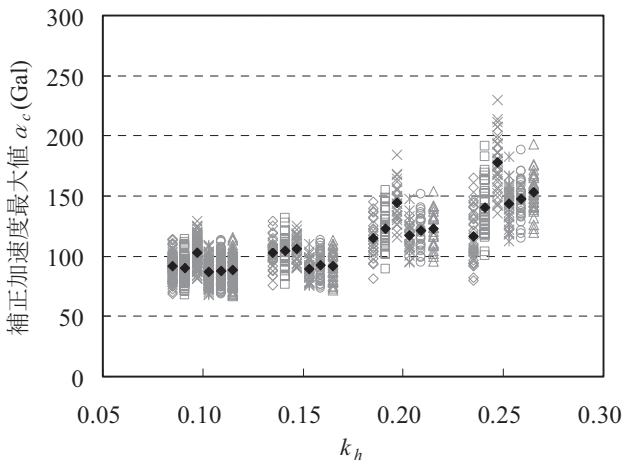
の設計震度 k_h に対する補正加速度最大値 a_c の分布、表- 6 に根入れセル式岸壁の許容変形量である 10cm 変形時の平均値と標準偏差を示す。また、図- 11~図- 16 に設計震度別の補正加速度最大値 a_c の頻度分布を示す。

図- 10 より、既往研究① (根入れ比) は設計震度 0.20 以下の範囲においては設計震度の増加に応じて補正加速度最大値 a_c も増加するが、設計震度 0.20 以上になると設計震度の増加に対する補正加速度最大値 a_c の増加は頭打ちとなる。一方、本研究では既往の重力式や控え矢板式の結果⁵⁾と同様に設計震度の増加に対応して補正加速度最大値 a_c も増加している。また、本研究の結果は既往研究や現行基準と比較するとほぼ同程度のバラツキではあるが、既往研究や現行基準では 10cm 変形時、設計震度 0.25 の条件において極端に小さな補正加速度が見られるのに対し、本研究ではそのような傾向は見られない。

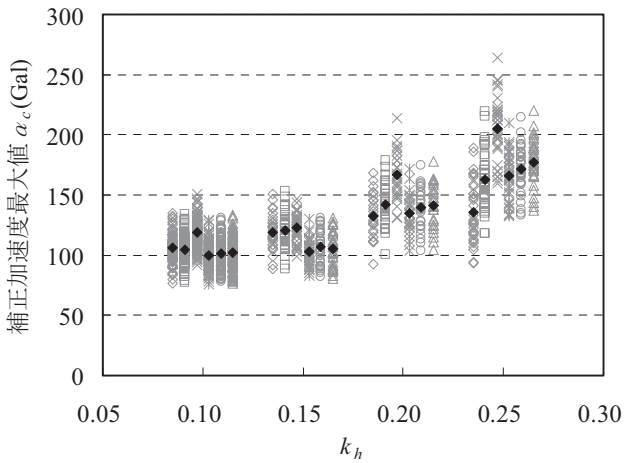


△: 本研究①(横方向地盤反力係数) ◇: 既往研究①(根入れ比)
 ○: 本研究②(根入れ比+横方向地盤反力係数) □: 既往研究②(根入れ壁体幅比)
 *: 現行基準(重力式準用) ×: 既往研究③(根入れ無視)

図- 10(a) 設計震度と補正加速度最大値の関係



(c) 15cm 変形時



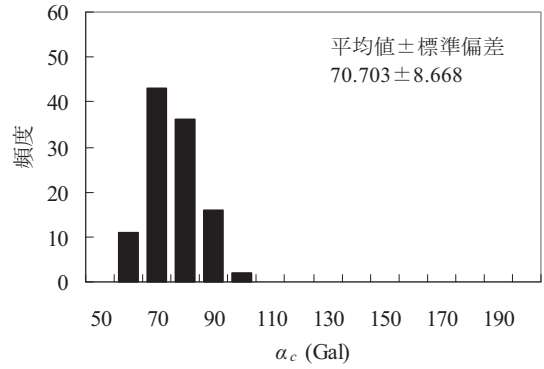
(d) 20cm 変形時

△: 本研究①(横方向地盤反力係数) ◇: 既往研究①(根入れ比)
 ○: 本研究②(根入れ比+横方向地盤反力係数) □: 既往研究②(根入れ壁体幅比)
 *: 現行基準(重力式準用) ×: 既往研究③(根入れ無視)

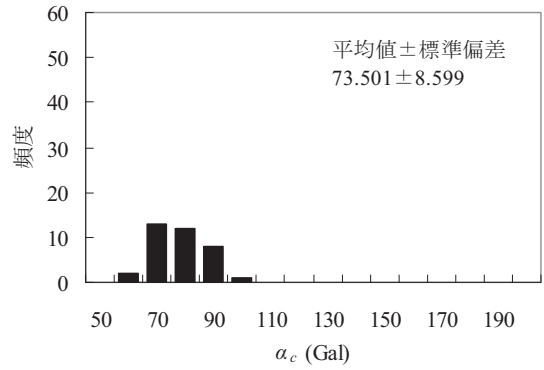
図- 10(b) 設計震度と補正加速度最大値の関係

表- 6 補正加速度最大値の平均値と標準偏差

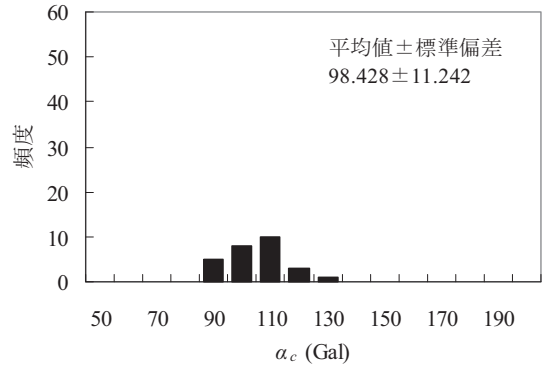
	k _h 0.10		k _h 0.15		k _h 0.20		k _h 0.25	
	平均 (Gal)	標準偏差	平均 (Gal)	標準偏差	平均 (Gal)	標準偏差	平均 (Gal)	標準偏差
本研究① (横方向地盤 反力係数)	70.70	8.67	73.50	8.60	98.43	11.24	121.92	12.82
本研究② (根入れ比+ 横方向地盤 反力係数)	70.55	8.07	74.33	8.34	97.04	10.88	117.74	12.65
既往研究① (根入れ比)	73.40	7.21	84.67	11.82	91.95	12.84	91.21	19.69
既往研究② (根入れ 壁体幅比)	72.15	7.04	85.51	12.35	98.50	12.92	109.52	20.11
既往研究③ (根入れ無視)	82.54	8.67	87.29	10.28	115.55	12.46	138.91	21.19
現行基準 (重力式準用)	69.52	7.30	73.53	7.93	94.03	9.38	112.40	15.33



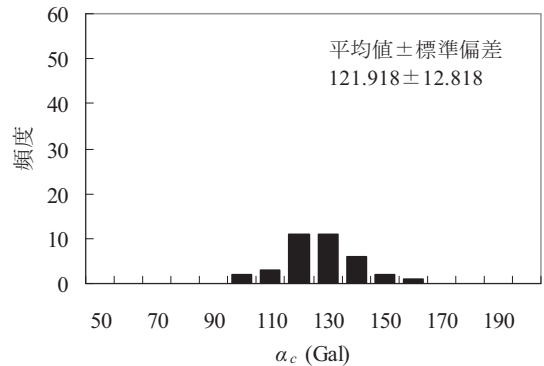
(a) k_h0.10



(b) k_h0.15



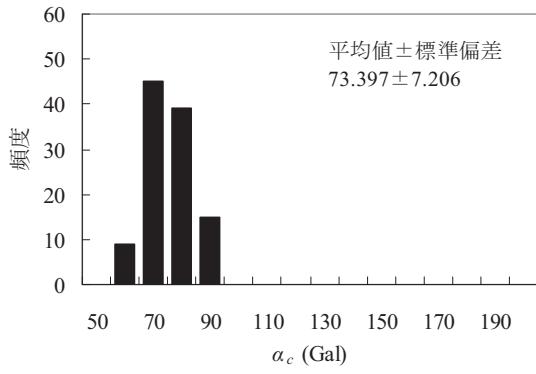
(c) k_h0.20



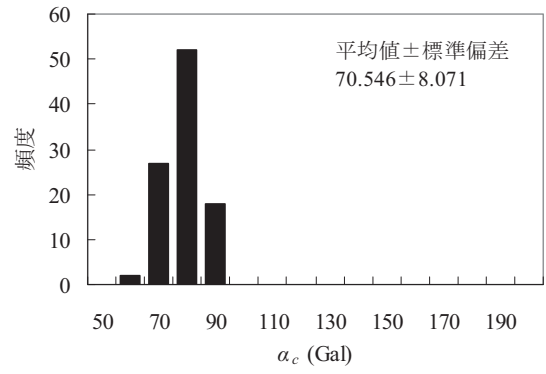
(d) k_h0.25

本研究① (横方向地盤反力係数)

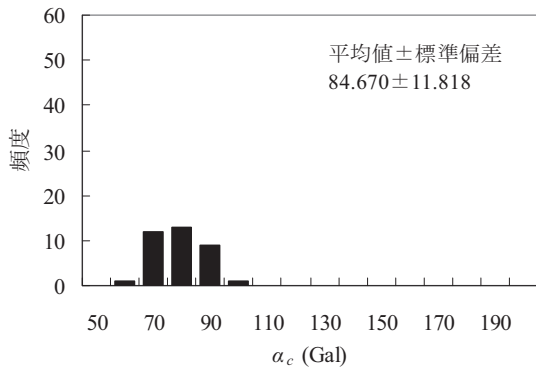
図- 11 補正加速度最大値の頻度分布



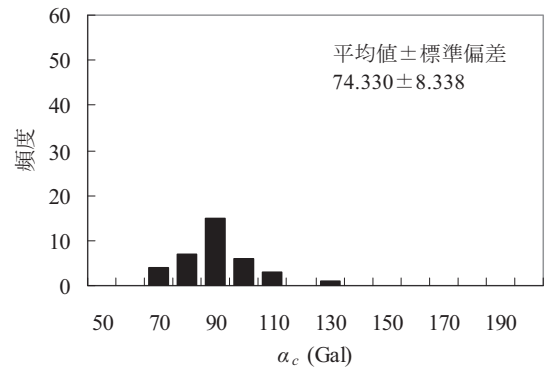
(a) $k_h0.10$



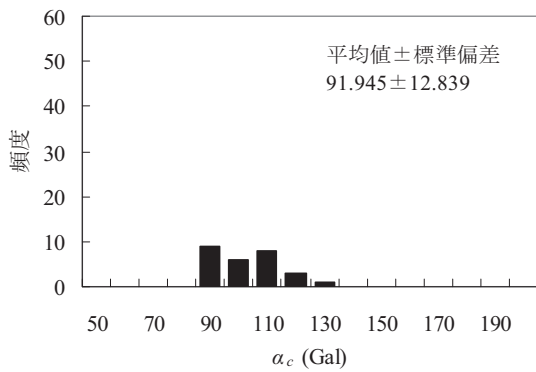
(a) $k_h0.10$



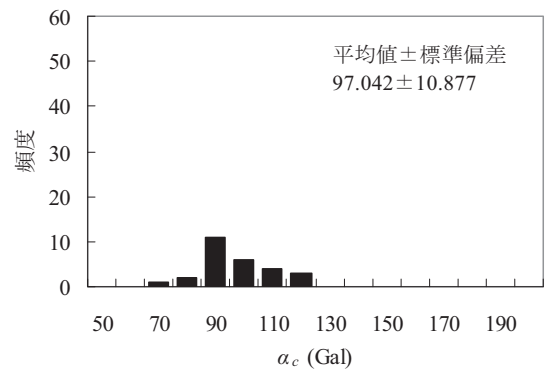
(b) $k_h0.15$



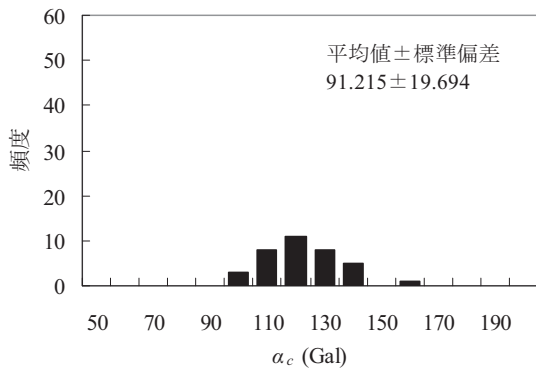
(b) $k_h0.15$



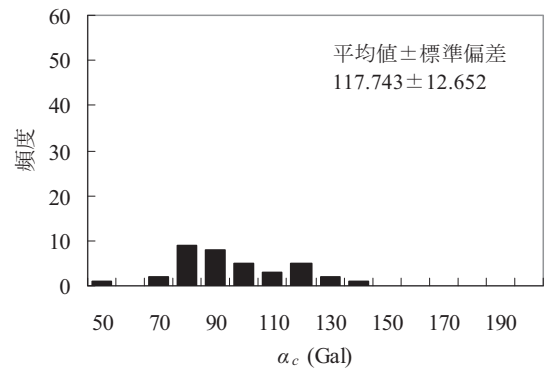
(c) $k_h0.20$



(c) $k_h0.20$



(d) $k_h0.25$



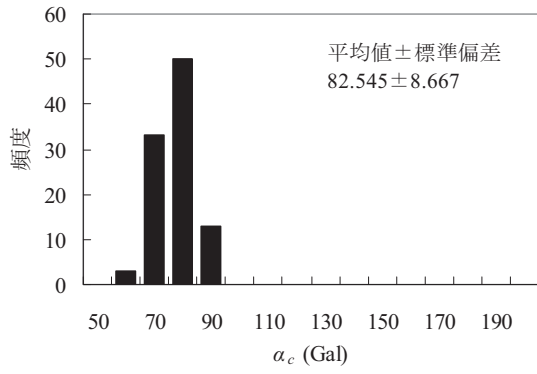
(d) $k_h0.25$

本研究② (根入れ比+横方向地盤反力係数)

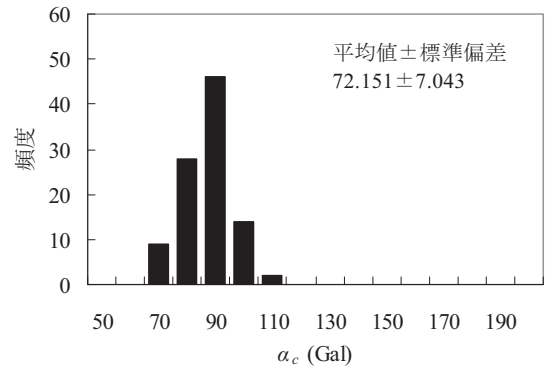
図-12 補正加速度最大値の頻度分布

既往研究① (根入れ比)

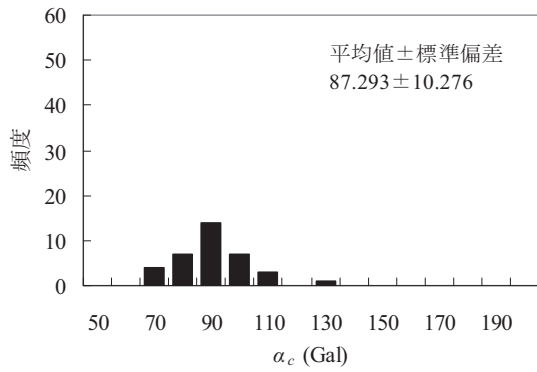
図-13 補正加速度最大値の頻度分布



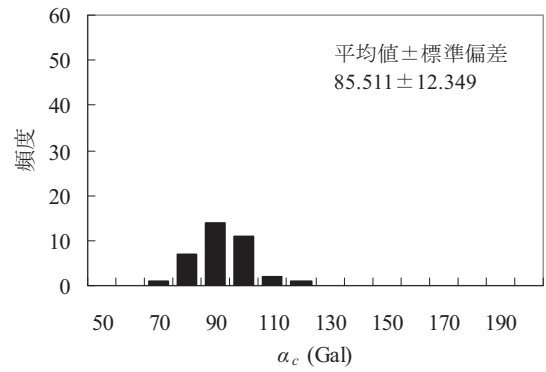
(a) $k_h 0.10$



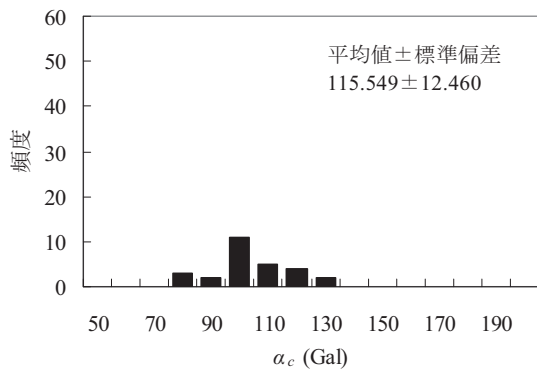
(a) $k_h 0.10$



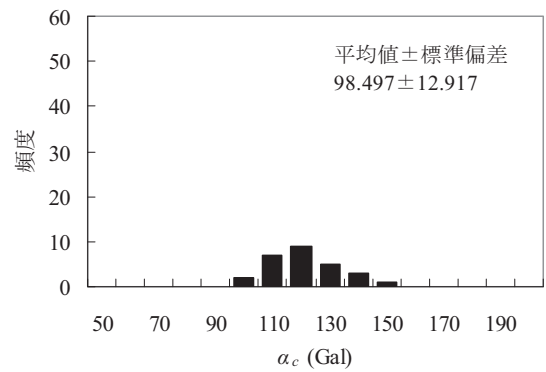
(b) $k_h 0.15$



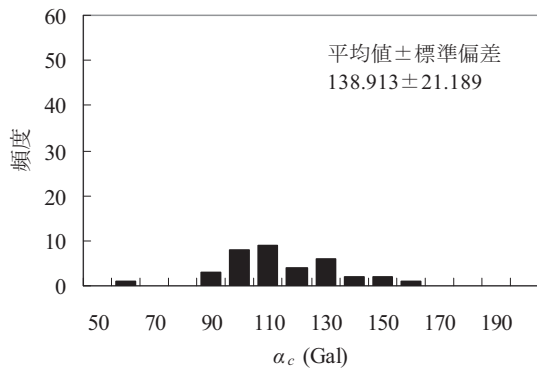
(b) $k_h 0.15$



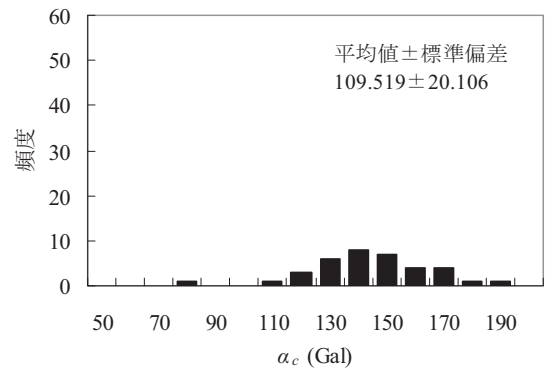
(c) $k_h 0.20$



(c) $k_h 0.20$



(d) $k_h 0.25$



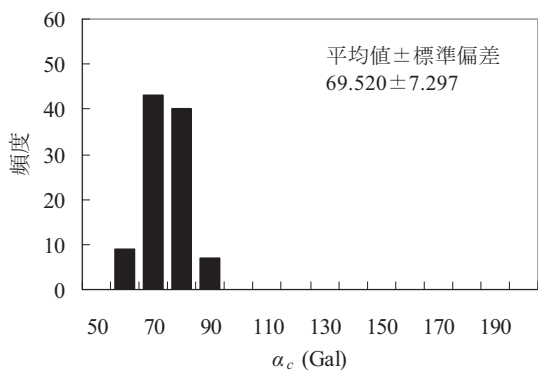
(d) $k_h 0.25$

既往研究②（根入れ壁体幅比）

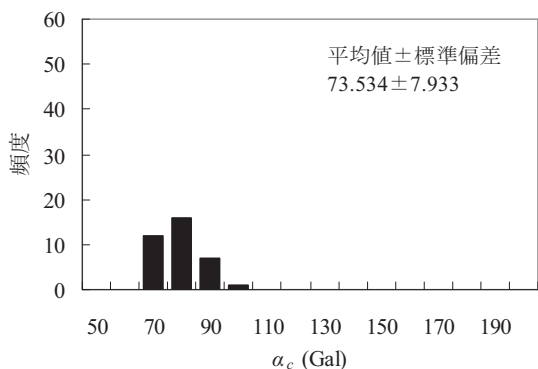
図- 14 補正加速度最大値の頻度分布

既往研究③（根入れ無視）

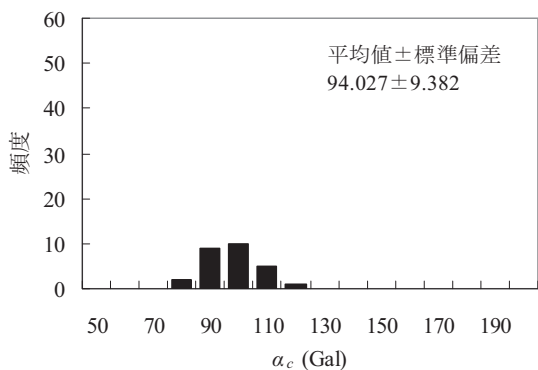
図- 15 補正加速度最大値の頻度分布



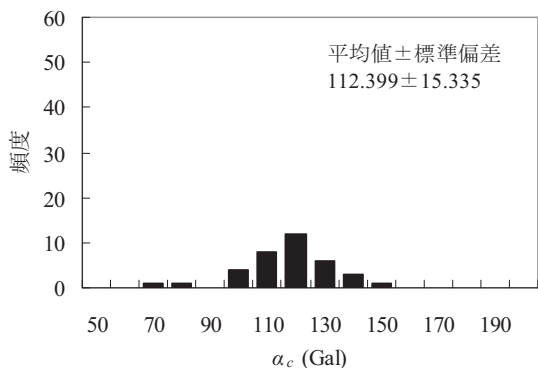
(a) $k_h 0.10$



(b) $k_h 0.15$



(c) $k_h 0.20$



(d) $k_h 0.25$

現行基準（重力式）

図-16 補正加速度最大値の頻度分布

2.5. 照査用震度の算定

既往の研究⁵⁾と同様に、設計震度を目的変数とし、岸壁の変形量と補正加速度最大値 α_c を重力加速度で除した値 α_c/g を説明変数とした回帰分析により、照査用震度算定式を求めた。まず、検討した変形量の範囲(5cm, 10cm, 15cm, 20cm)において平均的な10cm変形時の結果に対して、設計震度 k_h を目的変数、 α_c/g を説明変数として線形回帰($k_h=A\alpha_c/g+B$)を行い、係数 A 、 B を決定した。次に、全ての結果を用いて、係数 A に対して変形量 D を基準変形量 $D_0(=10\text{cm})$ で除した値の回帰を求めた。式(15)～式(21)に照査用震度算定式を示す。

次に、本研究で提案した照査用震度算定式を既往研究や現行基準等と精度比較した結果を図-17に示す。また、図-18～図-23に許容変形量である10cm変形時の照査用震度の頻度分布、表-7に照査用震度の平均値と標準偏差を示す。ここで、本研究で対象としている根入れセル式岸壁は対象とする地震動が大きく、大水深の場合に採用され易い構造形式である。また、現行基準では根入れセル式岸壁の許容変形量を10cmと定めていることから、根入れセル式岸壁の照査用震度算定式の精度を議論する上で変形量10cm、設計震度0.15以上の部分が最も重要な範囲となる。

既往研究①は照査用震度のバラツキが小さいものの、設計震度が増加しても照査用震度の値が増加せず、設計震度と照査用震度との対応が悪い。次に、既往研究②は設計震度の増加とともに照査用震度も増加しているが設計震度0.20以上であまり対応が良くない。既往研究③と現行基準は本研究の結果と比較すると、設計震度0.20以下ではほぼ同程度のバラツキとなっているが、設計震度0.25で大きなバラツキとなっており、極端に小さな照査用震度の値が見られる。一方、本研究は既往研究①、②と比較するとややバラツキは大きいですが、ターゲットとする設計震度と平均値の対応が良い。また、既往研究③や現行基準と比較するとほぼ同程度のバラツキとなっており極端に小さな値も見られない。

以上より、本研究の方が既往研究や現行基準よりも設計震度と照査用震度との対応が良く精度の良い結果が得られると考えられる。ここで、周波数特性考慮用フィルターのパラメータに根入れ比が入っている場合、仮定した根入れ長で設定した照査用震度を用いて決定した断面が性能照査によって性能が満足していないことが判明した場合に再度根入れ比を変更して照査用震度を設定する必要が生じる。これは、設計実務を考えると計算が煩雑になることを意味している。その為、根入れ比がパラメータにあることは望ましくないと判断し、ほぼ同精度の

結果が得られる本研究①（横方向地盤反力係数）を最終的な案とした。

照査用震度算定式

本研究①（横方向地盤反力係数）

$$k_h = 1.62 \left(\frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.58} \cdot \frac{\alpha_c}{g} + 0.04 \quad (15)$$

本研究②（根入れ比+横方向地盤反力係数）

$$k_h = 1.74 \left(\frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.58} \cdot \frac{\alpha_c}{g} + 0.03 \quad (16)$$

既往研究①（根入れ比）

$$k_h = 0.20 \left(\frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.53} \cdot \frac{\alpha_c}{g} + 0.15 \quad (17)$$

既往研究②（根入れ壁体幅比）

$$k_h = 0.96 \left(\frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.58} \cdot \frac{\alpha_c}{g} + 0.05 \quad (18)$$

既往研究③（根入れ無視）

$$k_h = 1.30 \left(\frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.58} \cdot \frac{\alpha_c}{g} + 0.05 \quad (19)$$

現行基準（重力式準用）

$$k_h = 1.78 \left(\frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.55} \cdot \frac{\alpha_c}{g} + 0.04 \quad (20)$$

$$\alpha_c = p \cdot \alpha_f \quad (21)$$

ここに、

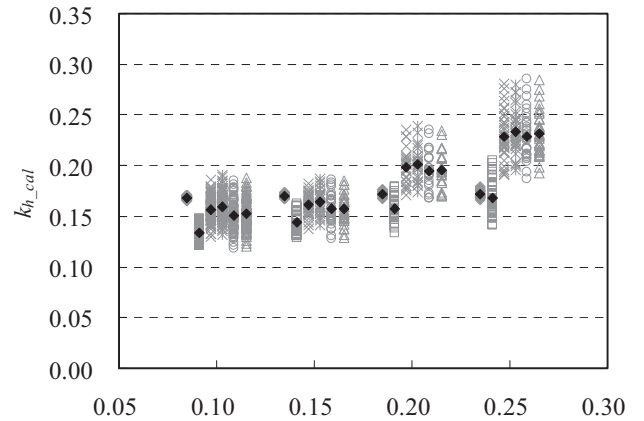
k_h : 照査用震度

D_a : 変形量許容値 (cm)

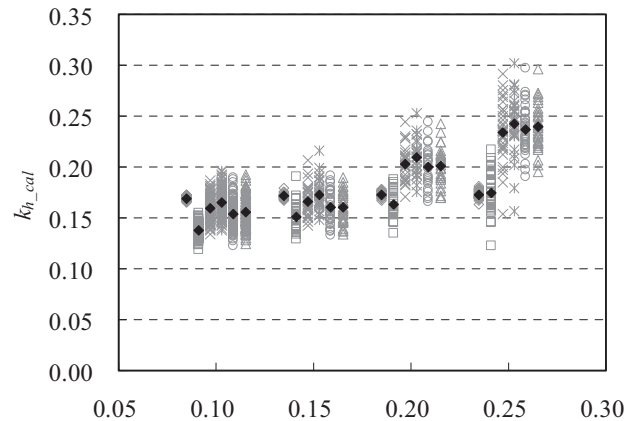
D_r : 基準変形量 (=10cm)

α_c : 補正加速度最大値 (Gal)

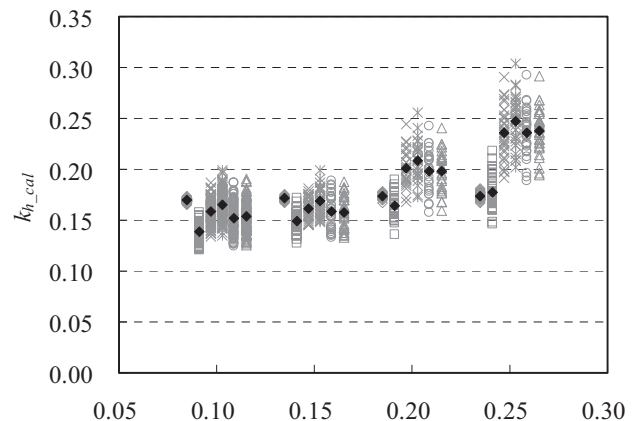
g : 重力加速度 (=980Gal)



(a) 5cm 変形時



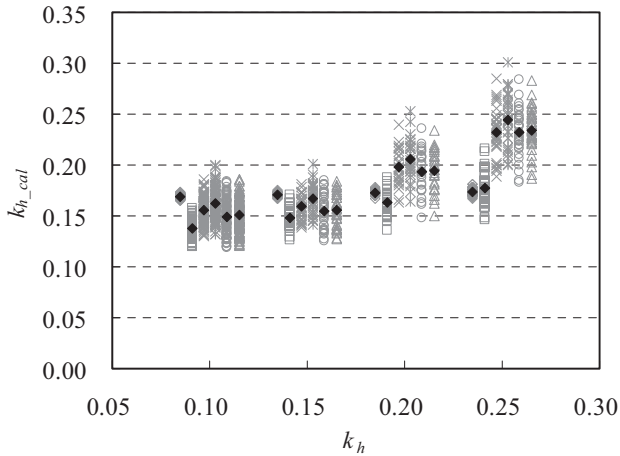
(b) 10cm 変形時



(c) 15cm 変形時

△: 本研究①(横方向地盤反力係数) ◇: 既往研究①(根入れ比)
 ○: 本研究②(根入れ比+横方向地盤反力係数) □: 既往研究②(根入れ壁体幅比)
 *: 現行基準(重力式準用) ×: 既往研究③(根入れ無視)

図- 17(a) 設計震度と照査用震度の関係



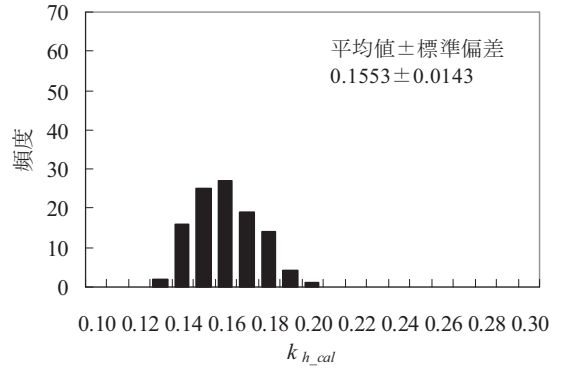
(d) 20cm 変形時

△: 本研究①(横方向地盤反力係数) ◇: 既往研究①(根入れ比)
 ○: 本研究②(根入れ比+横方向地盤反力係数) □: 既往研究②(根入れ壁体幅比)
 *: 現行基準(重力式準用) ×: 既往研究③(根入れ無視)

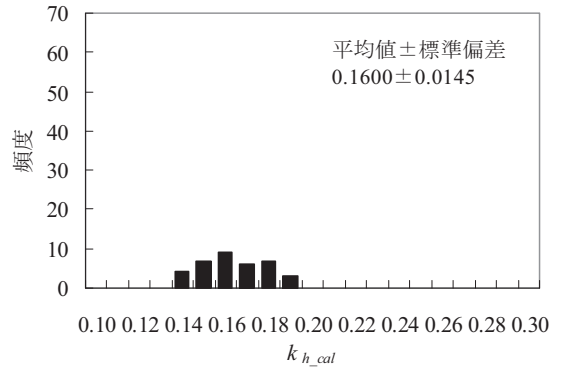
図- 17(b) 設計震度と照査用震度の関係

表- 7 照査用震度の平均値と標準偏差

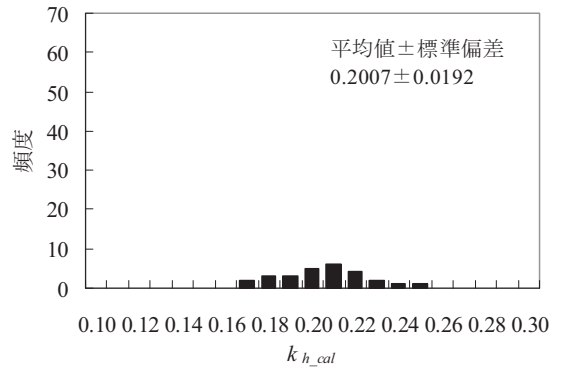
	$k_h 0.10$		$k_h 0.15$		$k_h 0.20$		$k_h 0.25$	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
本研究① (横方向地盤反力係数)	0.1553	0.0143	0.1600	0.0145	0.2007	0.0192	0.2395	0.0214
本研究② (根入れ比+横方向地盤反力係数)	0.1536	0.0143	0.1604	0.0151	0.2001	0.0199	0.2369	0.0227
既往研究① (根入れ比)	0.1692	0.0015	0.1715	0.0024	0.1730	0.0026	0.1729	0.0040
既往研究② (根入れ壁体幅比)	0.1379	0.0070	0.1509	0.0120	0.1635	0.0128	0.1743	0.0197
既往研究③ (根入れ無視)	0.1597	0.0115	0.1661	0.0137	0.2029	0.0170	0.2339	0.0280
現行基準 (重力式準用)	0.1649	0.0134	0.1723	0.0147	0.2091	0.0177	0.2426	0.0280



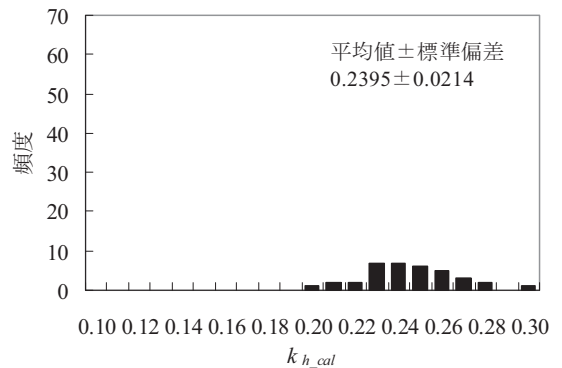
(a) $k_h 0.10$



(b) $k_h 0.15$



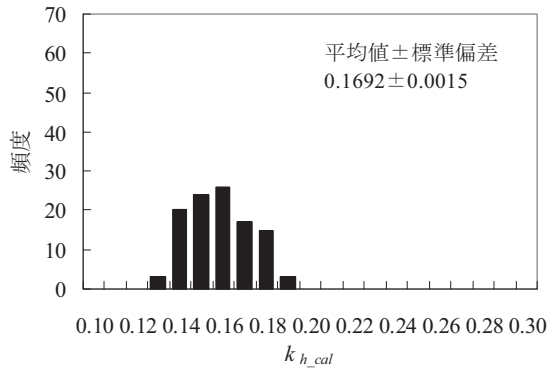
(c) $k_h 0.20$



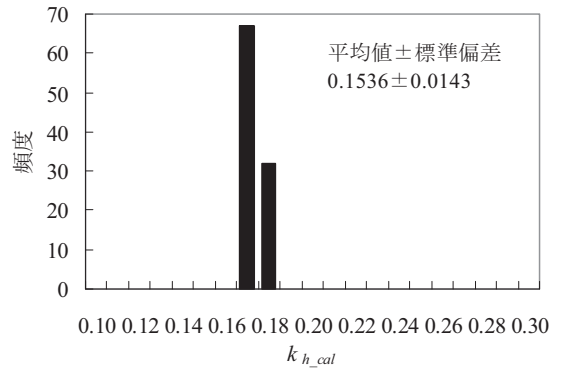
(d) $k_h 0.25$

本研究① (横方向地盤反力係数)

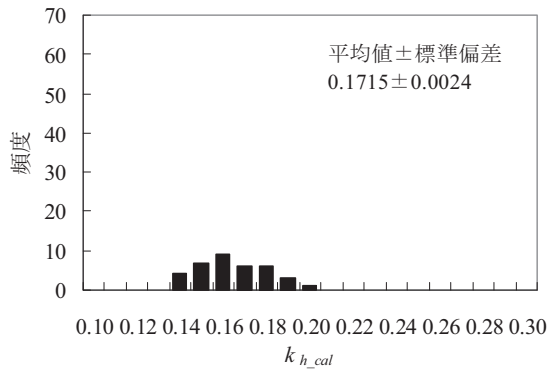
図- 18 照査用震度の頻度分布



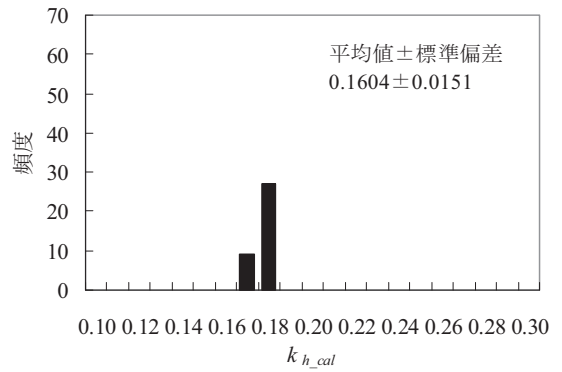
(a) $k_h0.10$



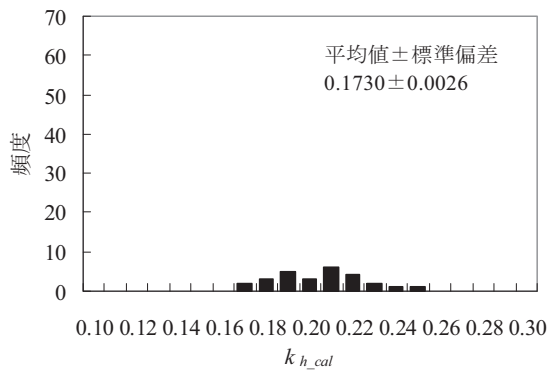
(a) $k_h0.10$



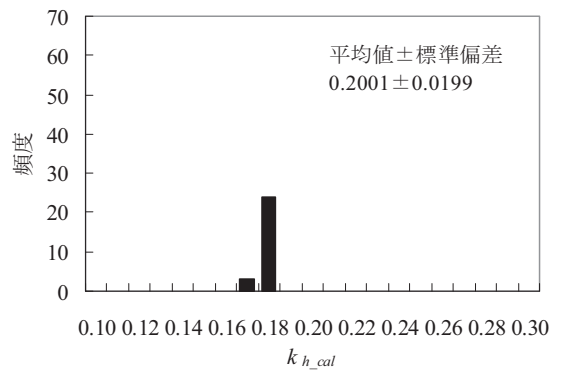
(b) $k_h0.15$



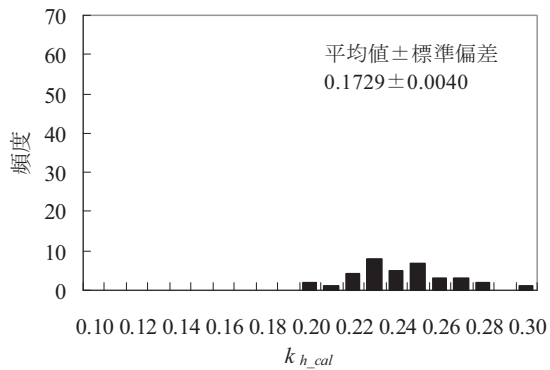
(b) $k_h0.15$



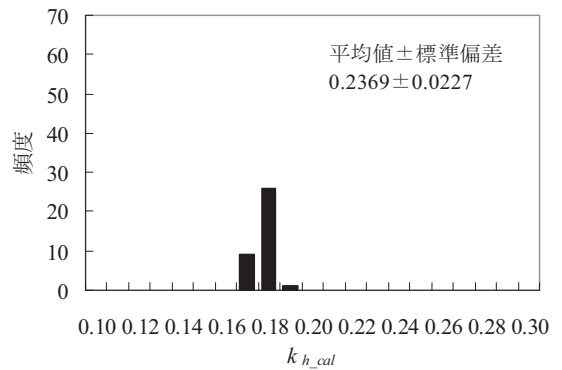
(c) $k_h0.20$



(c) $k_h0.20$



(d) $k_h0.25$



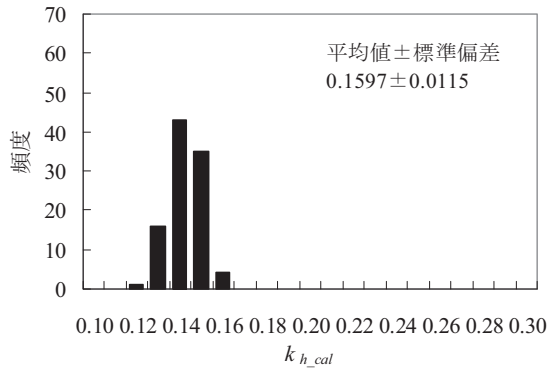
(d) $k_h0.25$

本研究② (根入れ比+横方向地盤反力係数)

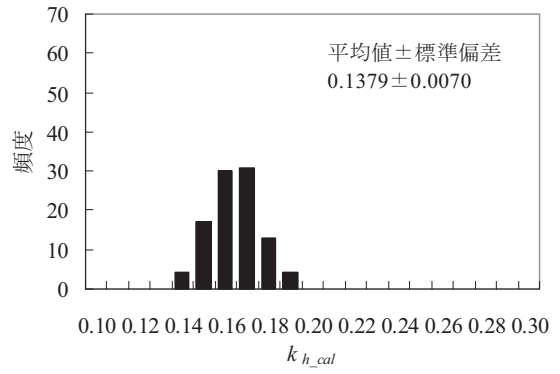
図- 19 照査用震度の頻度分布

既往研究① (根入れ比)

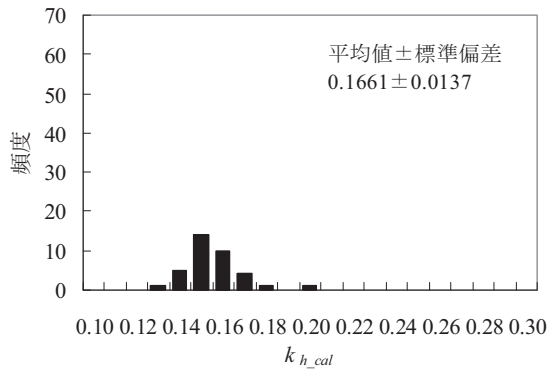
図- 20 照査用震度の頻度分布



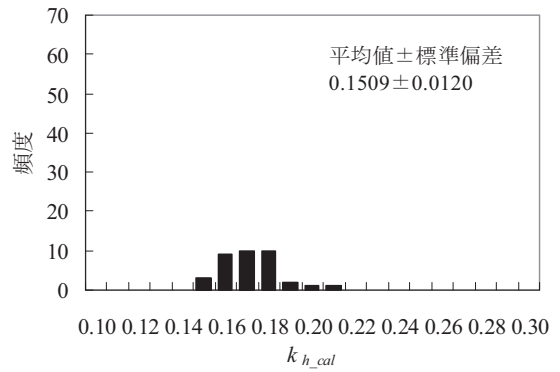
(a) k_h 0.10



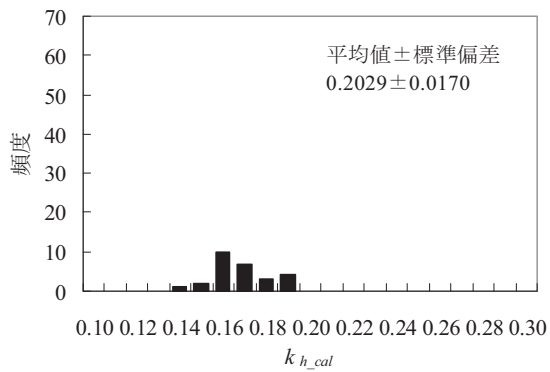
(a) k_h 0.10



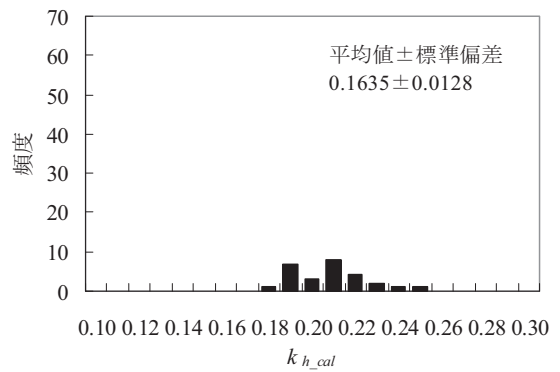
(b) k_h 0.15



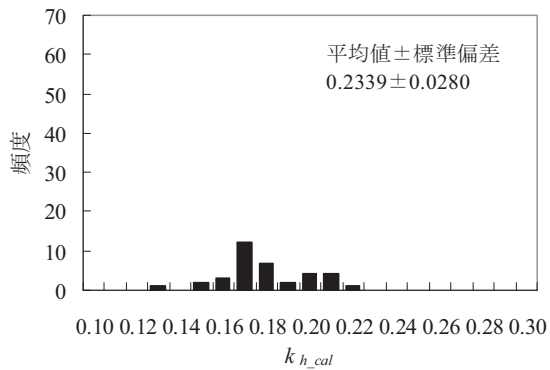
(b) k_h 0.15



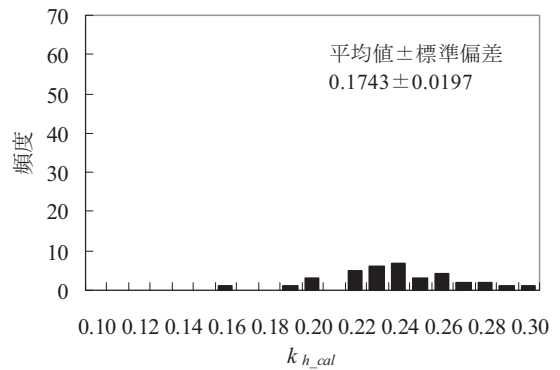
(c) k_h 0.20



(c) k_h 0.20



(d) k_h 0.25



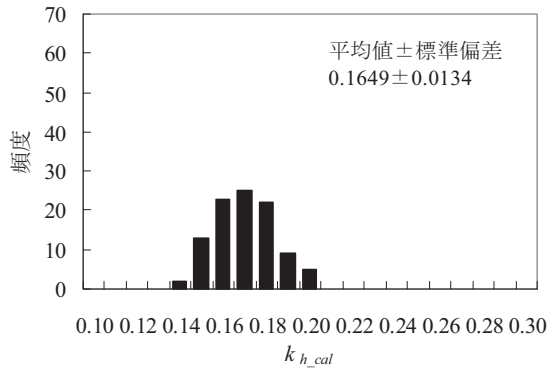
(d) k_h 0.25

既往研究②（根入れ壁体幅比）

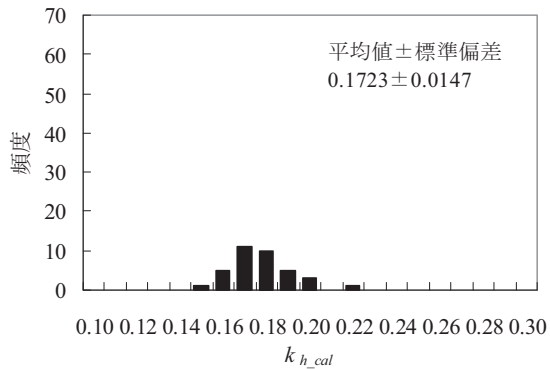
図- 21 照査用震度の頻度分布

既往研究③（根入れ無視）

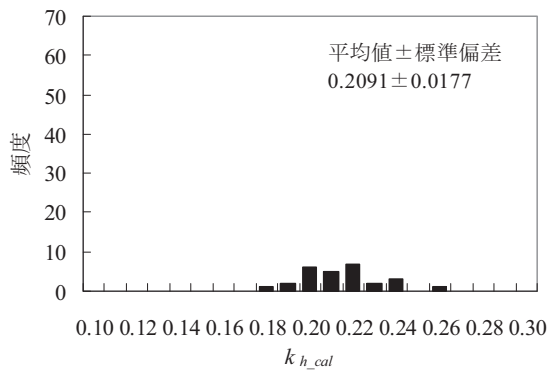
図- 22 照査用震度の頻度分布



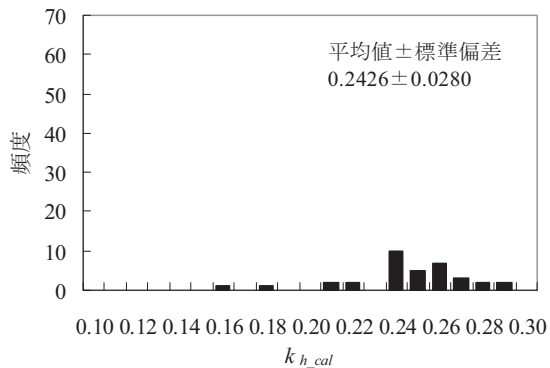
(a) $k_h 0.10$



(b) $k_h 0.15$



(c) $k_h 0.20$



(d) $k_h 0.25$

現行基準 (重力式準用)

図- 23 照査用震度の頻度分布

3. フィルターの上下限値の検討

本研究では、根入れセル式岸壁が建設される一般的な地盤条件を対象として検討を行ってきた。しかし、モデル地盤の範囲を超えた非常に強固な地盤や軟弱な地盤の場合に極端に大きな b 値または小さな b 値を算出することがあった為、既往の研究⁵⁾と同様に周波数特性フィルターに上下限値を定めることとしてその検討を行った。

非常に強固な地盤の想定として、海底面下の地盤固有周期を 0.10s とした。また、非常に軟弱な地盤の想定としては港湾地域強震観測の大阪湾事-G を対象としてモデル断面に適用し、それぞれの b 値を算定した。図- 24 に周波数特性考慮用フィルターの上下限を示す。

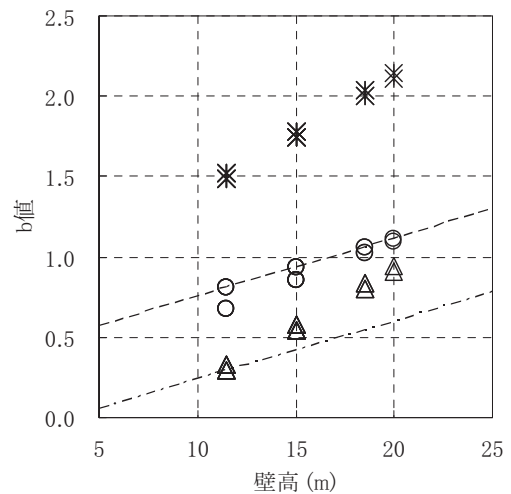
上限値について、本研究で対象としたモデル地盤よりも軟弱な地盤の場合は、一般的に地盤改良が行われると考えられる為、フィルターの上限値はモデル地盤を上限とした。次に、下限値は上限値と同じ勾配を採用し、非常に強固な地盤の壁高 11.5m (水深-7.5m) の点を通るように設定した。

以上より、上下限は式(22)のように設定した。

(根入れセル式岸壁における b 値の上下限)

$$0.04H - 0.13 \leq b \leq 0.04H + 0.39 \quad (22)$$

$$0.30 \leq b$$



- : モデル地盤
- △ : 非常に強固な地盤
- * : 非常に軟弱な地盤
- - - - $b = 0.04H + 0.39$
- · - · - $b = 0.04H - 0.13$

図- 24 周波数特性フィルターの上下限

4. おわりに

本研究では、レベル1地震動に対する根入れセル式岸壁の耐震性能照査用震度の設定方法について検討を行った。本研究における主要な結論は以下の通りである。

(1) 本研究で提案した照査用震度算定式の結果は既往研究①（根入れ比）や既往研究②（根入れ壁体幅比）と比較するとややバラツキは大きいものの、その平均値はターゲットとする設計震度と対応の取れたものであった。一方、既往研究③（根入れ無視）や現行基準（重力式準用）と比較するとほぼ同程度のバラツキであったが、10cm変形時、設計震度0.25の条件に見られた極端に小さな値は本研究の結果には見られなかった。また、本研究では本研究①（横方向地盤反力係数）と本研究②（根入れ比+横方向地盤反力係数）の2式を提案したが、設計実務における利便性を考慮して根入れの効果を根入れ以外のパラメータである横方向地盤反力係数で周波数特性考慮用フィルターに反映させた本研究①（横方向地盤反力係数）を最終案とした。

(2) 周波数特性考慮用フィルターに上下限值を設定することで極端に良好な地盤や軟弱な地盤の場合においても、極端な値を算出しないよう制限した。

以下に本研究で最終的に提案するフィルター算定式、低減率算定式、照査用震度算定式を示す。

①フィルター算定式

$$a(f) = \begin{cases} b & (f \leq 1.0\text{Hz}) \\ \frac{b}{1 - \{g(f)\}^2 + 8.8g(f)i} & (f > 1.0\text{Hz}) \end{cases}$$

$$g(f) = 0.34(f - 1.0)$$

$$b = 1.09 \frac{H}{H_R} - 0.88 \frac{T_b}{T_{bR}} + 0.96 \frac{T_u}{T_{uR}} - 0.03 \frac{k_{CH}}{k_{CH_R}} - 0.34$$

②低減率算定式

$$p = 0.31 \ln(S/\alpha_f) - 0.08$$

③照査用震度算定式

$$k_h = 1.62 \left(\frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.58} \cdot \frac{\alpha_c}{g} + 0.04$$

$$\alpha_c = p \cdot \alpha_f$$

ここに、

f : 周波数 (Hz)

i : 虚数単位

H : 壁高 (m)

H_R : 基準壁高 (=15.00m)

T_b : 背後地盤の初期固有周期 (s)

T_{bR} : 背後地盤の基準初期固有周期 (=0.80s)

T_u : 海底面下地盤の初期固有周期 (s)

T_{uR} : 海底面下地盤の基準初期固有周期 (=0.40s)

k_{CH} : 横方向地盤反力係数 (kN/m³)

k_{CH_R} : 基準横方向地盤反力係数 (=12650kN/m³)

S : フィルター処理後の加速度自乗和平方根 (Gal)

α_f : フィルター処理後の加速度最大値 (Gal)

k_h : 照査用震度

D_a : 変形量許容値 (cm)

D_r : 基準変形量 (=10cm)

α_c : 補正加速度最大値 (Gal)

g : 重力加速度 (=980Gal)

(2009年12月15日受付)

謝辞

レベル1地震動に対する根入れセル式岸壁の耐震性能照査用震度の設定方法に関する研究は、東亜建設工業株式会社 住谷圭一氏（前 港湾施設研究室 交流研究員）により研究が始められました。本研究では、住谷氏の取りまとめた結果および課題を基にして検討を行いました。ここに感謝致します。また、本研究で用いた地震波の一つは防災科学技術研究所の強震観測網 (KiK-net) によるものです。併せて感謝致します。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局監修, (社)日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007
- 2) 住谷圭一, 長尾 毅: レベル1地震動に対する根入れセル式岸壁の耐震性能照査用震度に関する基礎的考察, 国土技術政策総合研究所資料, N0.373, 2007
- 3) 住谷圭一, 長尾 毅: セル式岸壁の根入れが耐震性能に与える影響に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.352, 2006
- 4) 築地健太郎, 田川辰也, 長尾 毅: レベル1地震動に対する自立矢板式および二重矢板式係船岸の耐震性能照査用震度の設定方法, 国土技術政策総合研

究所資料, No.454, 2008

- 5) 長尾 毅, 岩田直樹, 藤村公宣, 森下倫明, 佐藤秀政, 尾崎竜三: レベル1地震動に対する重力式および矢板式岸壁の耐震性能照査用震度の設定手法, 国土技術政策総合研究所資料, N0.310, 2006
- 6) Susumu Iai, Yasuo Matsunaga, Tomohiro Kameoka : Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, Report of The Port and Harbour Research Institute, Vol.29, No.4, pp.27-56, 1990
- 7) 運輸省港湾局監修, (社)日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1999
- 8) 北村卓也, 由井洋三, 森田年一, 菅野高弘: 兵庫県南部地震における鋼板セル式岸壁の解析的研究, 土木学会第 53 回年次学術講演会, I - B258, pp.516-517, 1998
- 9) 森田年一, 井合 進, Hanlong Liu, 一井康二, 佐藤幸博: 液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメタの簡易設定法, 港湾技研資料 No.869, 1997

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 562 January 2010

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019